

# **Russisch-Deutsche Zusammenarbeit: System Laptev-See 2000 - Synthesephase -**

---

## **Abschlussbericht**



BMBF-Verbundvorhaben: 03G0569  
Förderzeitraum 1.1.2001 bis 31.8.2002

Kiel, April 2003



## INHALTSVERZEICHNIS

Liste der verwendeten Abkürzungen

I. SCHLUSSBERICHT - KURZE DARSTELLUNG.....	1
Aufgabenstellung des Verbundvorhabens .....	1
Voraussetzung des Verbundvorhabens .....	2
Planung und Ablauf des Verbundvorhabens .....	3
Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Projektbeginn.....	4
Zusammenarbeit .....	5
II. SCHLUSSBERICHT - EINGEHENDE DARSTELLUNG.....	9
Eingehende Darstellung der Einzelergebnisse .....	9
III. ERFOLGSKONTROLLBERICHT .....	61
Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms .....	61
Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Verbundvorhabens.....	62
Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans .....	63
Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	63
Erfindungen und Schutzrechte .....	64
Ungelöste Arbeitsansätze .....	64
IV. BERICHTSBLATT .....	65
V. ANHANG.....	69
Veröffentlichungen der Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter	
Langfristige Aufenthalte von GastwissenschaftlerInnen in Deutschland	



## Liste der verwendeten Abkürzungen

AARI	State Research Center - Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg
ACD	Arctic Coastal Dynamics
ACSYS	Arctic Climate System Studies
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
ADD	International Arctic Environment Data Directory
APARD	Arctic Paleo River Discharge
AWI	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
CGS	Canadian Geological Survey, Dartmouth
ECI	Earth Cryosphere Institute, Moscow
GEOMAR	GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
GGA	Leibniz-Institut für Angewandte Geowissenschaften, Hannover
GIS	Geographisches Informations-System
IASC	International Arctic Science Committee
IBCAO	International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean
ILMS	Institute of the Lithosphere of Marginal Seas, Moscow
INTAS	International Association for the Promotion of Cooperation from the Independent States of the Former Soviet Union
IPA	International Permafrost Association
IRSL	Infrarot Stimulierte Optische Lumineszenz
ISSP	Institute of Soil Science and Photosynthesis, Russian Academy of Sciences, Pushchino
LDR	Lena Delta Reserve, Tiksi
LGBR	Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
LOICZ	Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone
LOIRA	Land-Ocean Interactions in the Russian Arctic
MSU	Moscow State Lomonosov Universität, Moscow
NSF	National Science Foundation
OSL	Otto-Schmidt-Labor für Polar- und Meeresforschung, St. Petersburg
PAGES	Past Global Changes
PIY	Permafrost Institute Yakutsk
PNIS	Industrial and Research Institute for Engineering of Construction, Moscow
PSUMOC	St. Petersburg State University of Means of Communication
QUEEN	Quaternary Environment of the Eurasian North
RAISE	Russian-American Initiative for Shelf-Land Environments in the Arctic
RAS	Russian Academy of Sciences
RSHU	Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg
SIEE	Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow
SIO	P.P. Shirshov Institute for Oceanology, Moscow
SPbU	St. Petersburg State University
TOC	Total organic carbon
TP	Teilprojekt
UoO	University of Oslo
VNIIO	VNIIOkeangeologia, St. Petersburg



## I. SCHLUSSBERICHT – KURZE DARSTELLUNG

### Aufgabenstellung des Verbundvorhabens

Das Nordpolarmeer spielt eine wichtige Rolle in der Klimaentwicklung unserer Erde, da es sehr schnell auf Umweltveränderungen reagiert und zudem aktiv an Steuerungsmechanismen des globalen Klimas beteiligt ist. Ursache dafür ist seine dünne Eisdecke, die saisonal in ihren Randbereichen großen Veränderungen unterliegt. Sie beeinflusst den Gas- und Wärmeaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre und damit den globalen Wärmehaushalt sowie die Ozeanzirkulation. Trotz mehrjähriger internationaler Bemühungen ist unser Wissen über die Prozesse, die das System Arktis heute antreiben und in der Vergangenheit angetrieben haben, begrenzt. Bisher ist es deshalb nicht gelungen, sichere Prognosen über die Auswirkungen von Klimaveränderungen im Nordpolarmeer, die auch Europa betreffen werden, zu stellen. Die Laptev-See als wichtiges Meereisproduktionsgebiet und das sibirische Hinterland als eines der bedeutendsten Süßwasserliefergebiete des Nordpolarmeeres stellen dabei besonders interessante Forschungsregionen dar.

Im Rahmen des multidisziplinären Verbundvorhabens "Russisch-deutsche Zusammenarbeit: System Laptev-See 2000" mit anschließender Synthesephase wurden natürliche Hintergründe, Auswirkungen und Rückkoppelungsmechanismen von kurzfristigen Klimaveränderungen in der sibirischen Arktis untersucht. Das Forschungsvorhaben wurde vom 1.1.1998 bis 31.8.2002 im Rahmen der Fachvereinbarung zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Meeres- und Polarforschung zwischen dem russischen Ministerium für Industrie, Wissenschaft und Technologie (MINPROMNAUKI) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Mit den Forschungsarbeiten des Verbundvorhabens "System Laptev-See 2000" (Bewilligungszeitraum 1.1.1998 bis 31.12.2000 und in Einzelfällen bis zum 30.6.2001) ist es über die eigentliche Zielsetzung des Antrages hinaus gelungen, einen einzigartigen Proben- und Datensatz aus der Laptev-See und dem sibirischen Hinterland zu erarbeiten, der in diesem Ausmaß bei der Antragstellung nicht erwartet wurde. Im Mittelpunkt der Zielsetzung der Anschlusszuwendung „System Laptev-See Synthese“ (Bewilligungszeitraum 1.4.2001 bis 31.8.2002) stand deshalb, die wesentlichen wissenschaftlichen Ergebnisse des Verbundvorhabens zu erarbeiten und für Publikationen vorzubereiten. Hierzu sollten in Abstimmung mit den Forschungsarbeiten am Otto-Schmidt-Labor für Polar- und Meeresforschung (OSL) und den russischen Partnerinstitutionen vorhandene Proben aufgearbeitet und die gewonnenen Daten optimal ausgewertet werden. Die Themen der Teilprojekte mit TeilprojektleiterInnen und beteiligten Institutionen zeigt Tabelle 1. Im Berichtszeitraum sollte außerdem ein Konzept für ein auf Umwelt- und Paläoklimaaspekte fokussierendes Nachfolgeprojekt erarbeitet werden.

Tab. 1: Themen der Teilprojekte mit TeilprojektleiterInnen und beteiligten Institutionen

<b>WISSENSCHAFTLICHE KOORDINATION</b>  Prof. Dr. J. Thiede, Prof. Dr. H.-W. Hubberten und Dr. H. Kassens		
<b>Teilprojekt</b>	<b>Titel und Themenfelder</b>	<b>TeilprojektleiterIn</b>
<b>TP 1</b>	Marine und terrestrische Ökologie im System Laptev-See <ul style="list-style-type: none"> <li>A. Saisonale Variabilität von rezenten Stoffumsätzen in Permafrostgebieten</li> <li>B. Umweltreaktionen des terrestrisch-marinen Systems</li> </ul>	Prof. Dr. M. Spindler Institut für Polarökologie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Wischhofstraße 1-3 24148 Kiel Tel.: 0431 600 1220 e-mail: <a href="mailto:mspindler@ipoe.uni-kiel.de">mspindler@ipoe.uni-kiel.de</a>
<b>TP 2</b>	Terrestrische Dynamik im Lena-Delta <ul style="list-style-type: none"> <li>A. Saisonale Variabilität von rezenten Stoffumsätzen in Permafrostgebieten</li> <li>B. Land/Ozean-Wechselwirkungen</li> <li>C. Klimatrends in der sibirischen Arktis</li> </ul>	Prof. Dr. H.-W. Hubberten Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Forschungsstelle Potsdam Postfach 60 01 49 14401 Potsdam Tel.: 0331 288 2100 e-mail: <a href="mailto:hubbert@awi-potsdam.de">hubbert@awi-potsdam.de</a>
<b>TP 3</b>	Umweltreaktionen des Laptev-See-Systems <ul style="list-style-type: none"> <li>A. Saisonale Variabilität von rezenten Stoffumsätzen in Permafrostgebieten</li> <li>B. Umweltreaktionen des terrestrisch-marinen Systems der sibirischen Arktis</li> <li>C. Land/Ozean-Wechselwirkungen</li> <li>D. Klimatrends in der sibirischen Arktis</li> </ul>	Prof. Dr. J. Thiede Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Postfach 12 01 61 27515 Bremerhaven Tel.: 0471 4831 1100 e-mail: <a href="mailto:jthiede@awi-bremerhaven.de">jthiede@awi-bremerhaven.de</a>
<b>TP 4</b>	A: Dynamik und Variabilität des Land-Schelf-Systems <ul style="list-style-type: none"> <li>A. Saisonale Variabilität von rezenten Stoffumsätzen in Permafrostgebieten</li> <li>B. Umweltreaktionen des terrestrisch-marinen Systems der sibirischen Arktis</li> <li>C. Land/Ozean-Wechselwirkungen</li> <li>D. Klimatrends in der sibirischen Arktis</li> </ul> B: Kompilation und Koordination <ul style="list-style-type: none"> <li>Koordination und Kompilation in enger Zusammenarbeit mit allen Teilprojekten und russischen Verbundpartnern</li> </ul>	Dr. H. Kassens GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Wischhofstraße 1-3 24148 Kiel Tel.: 0431 600 2850 e-mail: <a href="mailto:hkassens@geomar.de">hkassens@geomar.de</a>

### Voraussetzung des Verbundvorhabens

Das Fundament für das Verbundvorhaben konnte durch die Pilotstudien der Jahre 1991, 1992 und 1993 und im Rahmen des Verbundvorhabens „System Laptev-See“ (FKZ 03G0517:



Bewilligungszeitraum 1.3.1994 - 28.2.1997 und Aufstockung 1.3.1997 bis 31.12.1997; FZK 03G0534: Bewilligungszeitraum 1.1.1998 bis 31.12.2000 und in Einzelfällen bis zum 30.6.2001) gelegt werden. Im Rahmen dieser Projekte wurden acht marine Expeditionen (TRANSDRIFT I-VIII) in die Laptev-See und sieben Expeditionen in das sibirische Hinterland und auf die Neusibirischen Inseln durchgeführt (Abb. 1). Von besonderer Bedeutung war dabei die Einbindung von etablierten und jungen, russischen WissenschaftlerInnen.

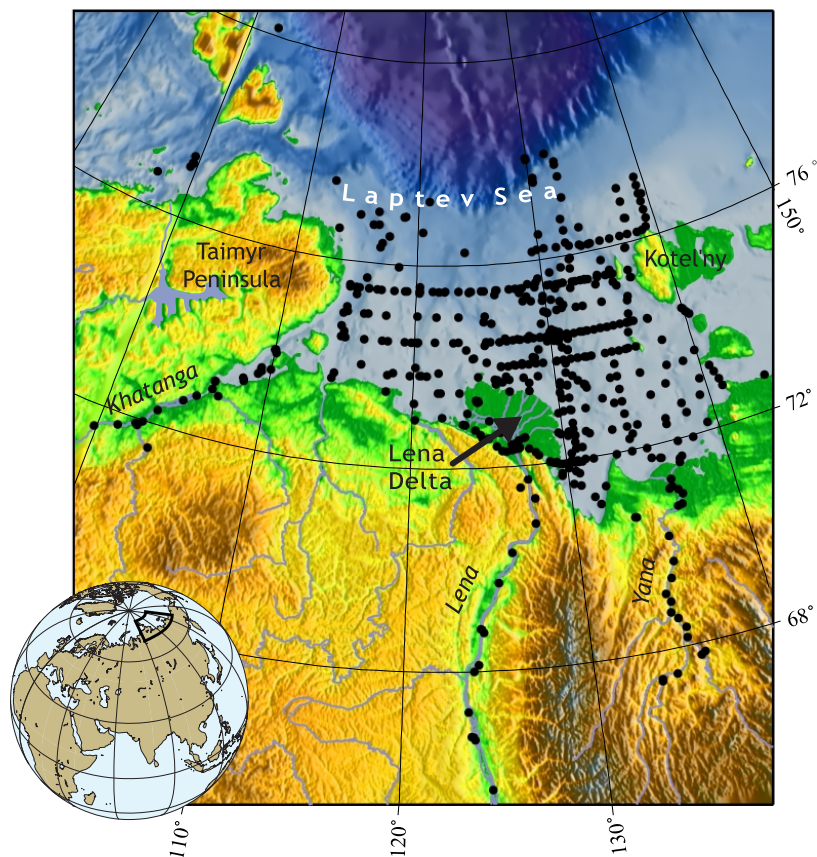


Abb. 1: Die Laptev-See mit dem angrenzenden sibirischen Hinterland ist eine Schlüsselregion für das Verständnis von Umweltveränderungen. Seit 1993 werden hier multidisziplinäre Untersuchungen im Rahmen des bilateralen Verbundvorhabens „System Laptev-See“ durchgeführt (Punkte markieren die Stationen).

### Planung und Ablauf des Verbundvorhabens

Aufbauend auf das Verbundvorhaben „System Laptev-See 2000“ wurde das Verbundvorhaben „System Laptev-See 2000 - Synthesephase“ vom 1.4.2001 bis 31.8.2002 gefördert. Wie beantragt wurde ein Konzept für ein auf Umwelt- und Paläoklimaaspekte fokussierendes Nachfolgeprojekt erarbeitet sowie ein großes internationales Arbeitstreffen in Deutschland und ein ständiger Austausch von WissenschaftlerInnen (insgesamt 24 mehrmonatige Gastaufenthalte vor allem von jungen russischen NachwuchswissenschaftlerInnen, vgl. Anlage)

durchgeführt. In vielen nationalen und internationalen Veröffentlichungen (490 Publikationen) sowie Vorträgen auf wissenschaftlichen Tagungen (691 Tagungsbeiträge) stellten die WissenschaftlerInnen ihre Forschungsergebnisse einer breiten Fachöffentlichkeit vor. Insgesamt wurden alle Teilziele des Verbundvorhabens erreicht. Von besonderer Bedeutung war dabei die enge Zusammenarbeit mit dem OSL.

### **Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Projektbeginn**

Das eng gekoppelte Land-Ozean-System der Laptev-See und des sibirischen Hinterlandes mit seinen komplexen Verbindungen wie dem Lena-Delta stellt eine einzigartige Forschungsregion für das Verständnis von Umweltveränderungen dar. Veränderungen in diesem lokal eng begrenzten Gebiet haben nicht nur Auswirkungen auf das Nordpolarmeer, sondern tragen darüber hinaus maßgeblich zu Steuerungsmechanismen von globalen Umweltveränderungen bei. Von besonderem Interesse sind dabei die direkten Folgen von Klimaveränderungen, wie z.B. die Abnahme der Packeisbedeckung im Arktischen Ozean, für den Seeweg der Nordostpassage. Denn die Laptev-See stellt das zentrale und von den Umweltbedingungen wohl am schwierigsten zu kontrollierende Segment des Seeweges der Nordostpassage dar. Dieser Seeweg ist in den vergangenen Jahrzehnten mit Hilfe russischer Technik zu einem routinemäßig benutzbaren Schifffahrtsweg geworden, dessen weiterer Ausbau und Nutzung von außerordentlicher wirtschaftlicher Bedeutung für Deutschland sein könnten. Die Forschungsarbeiten in der Laptev-See, besonders die wissenschaftliche Bewertung der Konsequenzen möglicher Umweltveränderungen, sind deshalb von großem nationalen und internationalen Interesse, weil für die Nutzung der Nordostpassage geeignete Schiffe zu entwickeln sind und weil die Nutzung der Nordostpassage routinemäßig sichergestellt werden muß.

Mit den Forschungsarbeiten des Verbundvorhabens "System Laptev-See 2000" ist es gelungen, einen einzigartigen Proben- und Datensatz aus der Laptev-See und dem sibirischen Hinterland zu erarbeiten. Hervorzuheben war dabei die TRANSDRIFT-V-Expedition mit dem FS POLARSTERN in das zentrale Nordpolarmeer und in die Laptev-See sowie die Winterexpedition TRANSDRIFT VI zur Laptev-See-Polynja. Hier konnten durch den Einsatz von modernen Messinstrumenten hochauflösend eine Vielzahl von unterschiedlichen Umweltparametern in der Wassersäule und am und im Meeresboden der Laptev-See registriert werden. Damit war es erstmals gelungen, wichtige Schlüsselemente zu erfassen, die eine realistische Modellierung der heutigen Umweltbedingungen in der Laptev-See ermöglichen. Besonders wichtig waren dabei die Ergebnisse von zwei Bodenmessobservatorien, die über ein Jahr lang zuverlässig gemessen und insgesamt zwei Millionen Umweltdaten registriert haben.

Voraussetzung für die Prognose von künftigen Umweltveränderungen sind genaue Kenntnisse nicht nur über die Umweltbedingungen der Gegenwart, sondern auch der

Vergangenheit. Es konnten detaillierte Umweltrekonstruktionen für das Holozän erarbeitet werden, die durch die Ergebnisse der Schelfbohrung (TRANSDRIFT-VIII-Expedition) weit über das Holozän hinaus erweitert werden konnten. Zusammen mit den terrestrischen Ergebnissen konnten somit erstmals Umweltinformationen eines gekoppelten Land-Ozean-Systems direkt miteinander verknüpft werden.

Zusammenfassend haben die Untersuchungen im Rahmen des Verbundvorhabens "System Laptev-See 2000" bedeutend zum Verständnis des gesamten arktischen Klimasystems beigetragen.

## Zusammenarbeit

Im Rahmen des Verbundvorhabens wurden die Forschungsarbeiten mit den folgenden Partnern durchgeführt (Tab. 2).

Tabelle 2: Zusammenarbeit

Themenfelder	Kooperationspartner
Koordination	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften</li> <li>- Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung</li> <li>- State Research Center - Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg</li> <li>- VNIIOkeangeologia, St. Petersburg</li> <li>- OSL</li> </ul>
A. Saisonale Variabilität von rezenten Stoffumsätzen in Permafrostgebieten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg</li> <li>- Institute for Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino</li> <li>- Institute of Soil Science and Photosynthesis RAS, Pushchino</li> <li>- Komarov Botanical Institute, St. Petersburg</li> <li>- Lena Delta Reserve, Tiksi</li> <li>- Permafrost Institute Yakutsk</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: M. Grigoriev, PIY, "The history of sediment transport along the Lena delta Laptev Sea shelf transect during the late Pleistocene-Holocene"</li> </ul>
B. Umweltreaktionen des terrestrisch-marinen Systems der sibirischen Arktis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lena Delta Reserve, Tiksi</li> <li>- State Research Center - Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg</li> <li>- Zoological Institute RAS, St. Petersburg</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: E. Abramova, LDR, "The pelagic invertebrate fauna of the Laptev Sea shelf region" und "Diel vertical migration of zooplankton in the Laptev Sea shelf waters"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: I. Dmitrenko, AARI, "Vertical exchange under stratified water conditions in the Laptev Sea: potential impact on hydrology, ice and redistribution of suspended sediments" und "Thermal regime of the bottom water layer in the Laptev Sea in terms of submarine permafrost evolution"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: M. Grigoriev, PIY, "The history of sediment transport along the Lena delta Laptev Sea shelf transect during the late Pleistocene-Holocene"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: E. Kirillova, RSHU, "Hydrochemical structure in the Chukchi Sea in comparison to the Laptev Sea"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: E. Narkevsky, SPbU, "Nutrients flux into the East-Siberian Sea with comparison the Laptev Sea"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: M. Nitishinsky, AARI, "Balance model of the hydrochemical regime of</li> </ul>

Themenfelder	Kooperationspartner
	<p>the Laptev Sea"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: S. Pivovarov, AARI, "Influx and transformation of nutrients on the Arctic shelf"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: V. Shevchenko, SIO, "Atmospheric input of natural and anthropogenic tracers in the Laptev Sea and adjacent Arctic Ocean" und "Pathways and fluxes of natural and anthropogenic tracers in the Laptev Sea and adjacent Arctic Ocean"</li> </ul>
C. Land/Ozean-Wechselwirkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Canadian Geological Survey, Dartmouth</li> <li>- Earth Cryosphere Institute, Moscow</li> <li>- Industrial and Research Institute for Engineering of Construction, Moscow</li> <li>- Institute of Soil Science and Photosynthesis RAS, Pushchino</li> <li>- International Permafrost Association, Ottawa</li> <li>- Lena Delta Reserve, Tiksi</li> <li>- Moscow State University</li> <li>- P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow</li> <li>- St. Petersburg State University of Means of Communication</li> <li>- University of Oslo</li> <li>- VNIIOkeangeologia, St. Petersburg</li> <li>- Zoological Institute RAS, St. Petersburg</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: D. Bolshiyarov, AARI, "Climate changes and sea level oscillations in the Laptev Sea region in Holocene as inferred from the data on the continental circumference"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: I. Dmitrenko, AARI, "Vertical exchange under stratified water conditions in the Laptev Sea: potential impact on hydrology, ice and redistribution of suspended sediments" und "Thermal regime of the bottom water layer in the Laptev Sea in terms of submarine permafrost evolution"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: M. Grigoriev, PIY, "The history of sediment transport along the Lena delta Laptev Sea shelf transect during the late Pleistocene-Holocene"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: N. Romanovskii, MSU, "Evolution and modern state of offshore and onshore permafrost and there role in sea-land interaction: Laptev Sea region" und "State and evolution of the upper part of the offshore permafrost and subsea periglacial processes in condition of recent thermal regime of the bottom water layer: Laptev Sea region, Russia"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: E. Taldenkova, MSU, "Detailed paleontological and paleoenvironmental studies on the eastern Laptev Sea shelf" und "Holocene transgression of the Eastern Laptev Sea shelf: evidence from fossil assemblages and oxygen isotope studies"</li> </ul>
D. Klimatrends in der sibirischen Arktis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forschungsstelle Quartär der Sächsischen Akademie der Wissenschaft, Freiberg</li> <li>- FU Berlin</li> <li>- Geological Institute RAS, Moscow</li> <li>- Institute for Biological Problems of the Cryolithozone Siberian Branch RAS, Yakutsk</li> <li>- Institute for Paleontology RAS, Moscow</li> <li>- Institute for Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino</li> <li>- Institute of Geography RAS, Moscow</li> <li>- Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg</li> <li>- Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow</li> <li>- Leibniz-Institut für Angewandte Geowissenschaften, Hannover</li> <li>- Leibniz-Labor für Altersbestimmung und Isotopenforschung der CAU Kiel</li> <li>- Lena Delta Reserve, Tiksi</li> <li>- Moscow State University</li> <li>- Museum für Naturkunde, Berlin</li> <li>- Permafrost Institute Yakutsk</li> <li>- University of Yakutsk</li> <li>- VNIIOkeangeologia, St. Petersburg</li> <li>- Zoological Institute RAS, St. Petersburg</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: D. Bolshiyarov, AARI, "Climate changes and sea level oscillations in the Laptev Sea region in Holocene as inferred from the data on the continental circumference"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: I. Dmitrenko, AARI, "Vertical exchange under stratified water</li> </ul>

Themenfelder	Kooperationspartner
	<p>conditions in the Laptev Sea: potential impact on hydrology, ice and redistribution of suspended sediments" und "Thermal regime of the bottom water layer in the Laptev Sea in terms of submarine permafrost evolution"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: S. Drachev, VNIIO, "Recent tectonic development of the Laptev Sea shelf and its influence on marine paleoenvironment" und "Acoustic pattern and physical properties of the top of submarine permafrost in the Eastern Laptev Sea and their relationship to sea-bottom morphology and tectonic setting"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: M. Grigoriev, PIY, "The history of sediment transport along the Lena delta Laptev Sea shelf transect during the late Pleistocene-Holocene"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: O. Naidina, ILMS, "Pollen in the Laptev Sea Shelf Sediments as Holocene Climatic Indicator"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: E. Polyakova, MSU, "Quaternary biostratigraphy and paleoenvironmental reconstruction of the Laptev Sea shelf"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: P. Rekant, VNIIO, "Late Pleistocene Development Stage of the Laptev Sea Continental Margin"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: N. Romanovskii, MSU, "Evolution and modern state of offshore and onshore permafrost and there role in sea-land interaction: Laptev Sea region" und "State and evolution of the upper part of the offshore permafrost and subsea periglacial processes in condition of recent thermal regime of the bottom water layer: Laptev Sea region, Russia"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: A. Sher, SIEE, "Pleistocene environment of the East Siberian Arctic shelf: creating the database on fossil insects, mammals and chronological data from the Laptev Sea area (LAPPAL)" und "Last glacial environment and climate of the Laptev Sea shelf land"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: E. Taldenkova, MSU, "Detailed paleontological and paleoenvironmental studies on the eastern Laptev Sea shelf" und "Holocene transgression of the Eastern Laptev Sea shelf: evidence from fossil assemblages and oxygen isotope studies"</li> <li>- OSL-Arbeitsgruppe: A. Zayonchek, VNIIO, "Bathymetry of the Laptev Sea Continental Margin and the Main Relief Forms Factors in The Late Cenozoic"</li> </ul>



## II. SCHLUSSBERICHT - EINGEHENDE DARSTELLUNG

### Zusammenfassung der Ergebnisse

#### Teilprojekt 1: Marine und terrestrische Ökologie im System Laptev-See

Der fluviale Eintrag der Lena, sowie die Eisbedeckung sind die bestimmenden Größen für die Lebensgemeinschaften der östlichen Laptev-See. Die Verteilung und Zusammensetzung der Gemeinschaften im Pelagial und Benthos scheint direkt oder indirekt durch diese Faktoren gesteuert zu werden. Phytoplankton- und Zooplanktongemeinschaften zeichnen sich durch hohe Anteile neritischer, d.h. küstennaher, eurihaliner Arten aus. Bei einigen Gattungen gibt es einen deutlichen Wechsel von Brackwasser-Arten zu rein marinen Arten je weiter man nach Norden in höher salines Wasser kommt. Diesen Trend beobachtet man ebenfalls, wenn auch weniger deutlich, im Benthos, einige Muschelarten sind für ihre hohe Salzgehaltstoleranzen bekannt. Die Zonierung besonders der Flachwassergemeinschaften im Benthos ist im Wesentlichen durch physikalische Störungen beeinflusst. Die z.T. hohe Primärproduktion wird vom Zooplankton zur frühzeitigen Speicherung (August/September) von energiereichen Wachsestern (Copepoden) und Triacylglycerinen (Amphipoden, Mysidaceen, Chaetognaten) genutzt. Trotzdem erreicht ein nicht geringer Teil der Phytoplanktonproduktion unverändert den Meeresboden und kann als energiereiche Nahrung direkt vom Benthos genutzt werden. Diese direkte Kopplung zwischen Wasser und Sediment erlaubt die Aufrechterhaltung einer reichhaltigen Benthosfauna. Umweltveränderungen haben also direkte Auswirkungen auf die Organismen die diese als Integrator über mehrere Jahre abbilden und somit gut als Proxy zu benutzen sind.

#### Teilprojekt 2: Terrestrische Dynamik in der Laptev-See-Region

Während der Synthesephase konnten im Teilprojekt 2 die klimabedingten Änderungen im terrestrischen Permafrost der Umrandung der Laptev-See charakterisiert und im größeren Zusammenhang die Wechselwirkung Land-Atmosphäre-Ozean interpretiert werden. Dabei wurden auch die im Permafrost ablaufenden Prozesse im Hinblick auf den Kohlenstoffumsatz – insbesondere die Methanbilanz – erfasst und quantifiziert. In den drei bearbeiteten Synthesefeldern wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Synthesefeld 1 „Küstendynamik im Bereich der Laptev-See“

In einer abschließenden Synthese zur Genese des Lena-Deltas konnte gezeigt werden, dass nur der östliche Teil des als Delta bezeichneten Gebietes aus eigentlichen Deltasedimenten (< 6 ky BP) gebildet wird, während weite Bereiche aus Erosionsresten von Eiskomplex-Ablagerungen

und fluvialen Sedimenten spät-pleistozänen Alters bestehen. Das heutige Lena-Delta bildet einen Filter für die Bodenfracht der Lena, während die Schwebfracht nahezu vollständig in die Laptev-See transportiert wird.

Der Sediment- und Kohlenstoffeintrag (TOC = total organic carbon) in die Laptev-See durch Küstenerosion konnte im Rahmen der Synthesephase quantifiziert werden. Es zeigte sich, dass die durch Küstenerosion in die Laptev-See eingetragene Sedimentmenge den Flusseintrag deutlich übersteigt, während der TOC-Eintrag durch Küstenerosion nur etwa 25% des Flusseintrages erreicht. Für den Zeitraum der letzten 5.000 Jahre konnten der Sedimenteintrag (durch Flüsse und Küstenerosion) und der Sedimentaustrag (durch Sedimentation, Eisexport und Bodenströmungen) gut bilanziert werden.

Basierend auf eigenen Ergebnissen aus der Laptev- und Ostsibirischen See und anhand einer umfangreichen Literaturrecherche konnte eine zirkum-arktische Synthese zum Sediment- und TOC-Eintrag in den Arktischen Ozean erstellt werden.

- Synthesefeld 2 „Rekonstruktion der Klima- und Umweltgeschichte anhand synkryogener Permafrostabfolgen“

Zu den wichtigsten Ergebnissen im Synthesefeld 2 gehört der sichere Nachweis, dass die Laptevsee-Region auch in den Glazialen des Spätpleistozäns nie großräumig von einer Schelfeiskappe bedeckt war. Es konnten im Zuge der Synthesephase Stadien der Umweltentwicklung mit wiederholten Temperatur- und Humiditätsschwankungen seit 200 ka abgeleitet werden. Die Untersuchungen von fossilen Pflanzenresten und Insekten und die Analyse stabiler Isotope in Eiskeilen erbrachten den Beweis für ein im Vergleich zu heute wesentlich kontinentaleres Klimas während des gesamten Spätpleistozäns. Auf der gleichen Basis konnten erste Temperaturrekonstruktionen für das spätquartäre Klima in der Laptev-See-Region vorgenommen werden.

- Synthesefeld 3 „Bilanzierung und Dynamik von Treibhausgasen im Permafrost“

Die Untersuchungen zur Bilanzierung von Spurengasen aus Permafrostböden des Lena-Deltas zeigten eine durchschnittliche Methan-Quellstärke für die wirksame Vegetationsperiode von 77 Gg CH<sub>4</sub> yr<sup>-1</sup> (Gg = 10<sup>9</sup>g). Die Methanemissionsraten schwankten dabei zwischen 0,7 und 119,6 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Ursache für diese starken saisonalen Fluktuationen sind die zugrunde liegenden mikrobiologischen Prozesse der Methanbildung und -oxidation, die sich im saisonalen Verlauf in Abhängigkeit von den Umweltvariablen (Bodenfeuchte, Substratverfügbarkeit, Sauerstoffkonzentration u.a.) stark ändern. Die Menge des freigesetzten Methans wird in erster Linie über die Methanoxidation sowie über den pflanzenabhängigen Transport von Methan aus dem Boden in die Atmosphäre gesteuert. Die Aktivität der sauerstoffabhängigen methanotrophen Bakterien ändert sich dabei in Abhängigkeit des



saisonalen Bodenwasserstandes stark, während sich diese Änderungen auf die Aktivität der methanogenen Archaeen kaum auswirkt. Eine signifikante Abhängigkeit der mikrobiellen Prozesse von den niedrigen In-situ-Temperaturen konnte aufgrund der Ergebnisse aus den In-situ- und In-vitro-Studien nicht verifiziert werden. Neben den feuchten Tundrängleyen und –mooren sind auch die Seen und eisreichen Permafrostsedimente wichtige, bisher unzureichend bilanzierte Quellen für Methan aus Permafrostlandschaften.

### Teilprojekt 3: Umweltreaktionen des Laptev-See-Systems

Die mikropaläontologischen und isotope-geochemischen Untersuchungen an den Sedimenten, die im Rahmen der Schelfbohrungen (TRANSDRIFT VIII) erbohrt wurden, sowie die vergleichende Auswertung historischer Datensätze mit den neuesten Ergebnissen der ozeanographischen, biogeochemischen und sedimentologischen Untersuchungen waren ein Meilenstein auf dem Weg zu einem besseren Verständnis der Umweltreaktionen des Laptev-See-Systems.

Die Schelfbohrungen in den submarinen Permafrost zeigten, dass geschichtete Sedimente holozänen Alters gefrorene, eishaltige Permafrostböden des letzten Glazials überlagern (Kassens et al., 2001). Untersuchungen der Sauerstoffisotopen des Eises sowie die Artenzusammensetzung der fossilen Insektenfauna verdeutlichen eindrucksvoll (Bauch et al. 2002), dass der submarine Permafrost auf dem Laptev-See-Schelf ein ähnlich gutes Potenzial als Klimaarchiv aufweist wie die Küstenaufschlüsse. Die geophysikalischen und sedimentologischen Untersuchungen weisen ebenfalls darauf hin, dass es sich bei den Sedimentstrukturen im submarinen Permafrost um Relikte einer terrestrischen Permafrostlandschaft handelt, die der rezenten Thermokarstlandschaft im Küstenbereich sehr ähnelt, die jedoch in Folge der postglazialen Transgression mit marinen holozänen Sedimenten überlagert wurde.

Die Auswertung historischer und aktueller Datensätze sowie Modellrechnungen unterstreichen die Bedeutung des atmosphärischen Zirkulationsregimes für die Hydrographie und den Stoff- und Wärmetransport in der Laptev-See. So zeigte sich, dass die Variabilität des atmosphärischen Antriebs für die Verbreitung des Flusswassers und die thermohaline/hydrochemische Struktur der Laptev-See wichtiger ist als die jährlichen Schwankungen im Süßwassereintrag selbst (Dmitrenko et al., 2002). Ein weiterer wichtiger Schritt zu einem besseren Verständnis der Variabilität des Systems Laptev-See waren die Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen der Synthesephase, die die Hypothese unterstreichen, dass systemsteuernde biogeochemische und sedimentologische Schlüsselprozesse während des Zufrierens der Laptev-See im Herbst und während des Flussaufbruches im Frühling ablaufen (Hölemann et al., 2002). Die atmosphärischen und ozeanographischen Umweltbedingungen während dieser jeweils zirka zweiwöchigen saisonalen

Übergangsphasen beeinflussen in starkem Maße die bio-geochemischen und sedimentologischen Prozesse während der restlichen elf Monate.

#### Teilprojekt 4A: Dynamik und Variabilität des Land-Schelf-Systems

Im Rahmen des Teilprojektes 4A konnten lang- und kurzfristige Umweltveränderungen im Land-Schelf-System erfasst und die Variabilität innerhalb des Systems während verschiedener Zeitscheiben charakterisiert werden. Dabei weisen Daten zur jahreszeitlich bedingten Variabilität innerhalb der Partikeldynamik auf dem Laptev-See-Schelf darauf hin, dass ein Großteil des eingetragenen Materials innerhalb eines quasi-ästuarinen Sedimentkreislaufs auf dem Schelf hin und her transportiert wird. Dies hat einen durch Eisexport dominierten Sedimentexport zur Folge. Es konnte gezeigt werden, dass Veränderungen in der nordatlantischen Zirkulation, die maßgeblich die Niederschlagsverhältnisse und somit auch den Flusswassereintrag in der Laptev-See beeinflussen, deutliche Änderungen der Bodenwassersalinitäten zur Folge haben. Für verschiedene Zeitscheiben der postglazialen Transgression in der Laptev-See konnten durch die Rekonstruktion der Bodenwasser- und Oberflächenwassersalinitäten die Paläogeographie in der holozänen Entwicklungsgeschichte des Laptev-See-Schelfes entwickelt werden.

#### Teilprojekt 4B: Koordination und Kompilation

Die Aufgaben des Teilprojektes 4B umfassten die Koordination des Verbundvorhabens. Von besonderer Bedeutung war dabei die wissenschaftliche Abstimmung zwischen den deutschen und russischen Verbundpartnern sowie die enge Kooperation mit dem Otto-Schmidt-Labor für Polar- und Meeresforschung. Darüber hinaus wurde ein Konzept für ein auf Umwelt- und Paläoklimaaspekte fokussierendes Nachfolgeprojekt erarbeitet sowie die internationale Fachtagung „Climate Drivers of the North“ und fünf nationale Arbeitstreffen organisiert und durchgeführt. Im Berichtszeitraum wurden 24 mehrmonatige Gastaufenthalte vor allem von jungen russischen Nachwuchswissenschaftlern betreut (vgl. Anlage).

## Teilprojekt 1: Marine und terrestrische Ökologie im System Laptev-See

### Eingehende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse des Teilprojektes

#### Zielsetzung

Marine Organismen in der Arktis werden in besonderem Maße durch kurze Perioden pelagischer Primärproduktion, tiefe Temperaturen und eine fast ganzjährige Eisbedeckung beeinflusst. In der Laptev-See ist ein weiterer bestimmender Faktor der stark saisonal gepulste Süßwassereinstrom der Lena. Die Untersuchung mariner Stoffflüsse ist heutzutage Bestandteil jeder ökosystemaren Untersuchung. In der flachen Laptev-See sind Stoffflüsse von besonderer Bedeutung, da durch die geringen Tiefen eine enge Kopplung zwischen Primärproduzenten und Sekundärproduzenten zu erwarten ist. Prozesse an der Oberfläche wirken sich zeitnah bis auf das Benthos als „Gedächtnis“ mariner Prozesse aus.

Es wurden die drei Habitate Meereis, Pelagial und Benthos untersucht. Besonderes Augenmerk sollte hierbei auf den Energie- und Kohlenstofffluss durch das marine Nahrungsnetz gerichtet werden. Das Meereis stellt einen einzigartigen Lebensraum für Eisalgen und eisassoziierte Fauna (Sympagial) dar. Bei der Eisschmelze werden diese Organismen in die Wassersäule freigesetzt oder wandern aktiv ab. Dort stellen sie einen Teil der Erstbesiedler im Frühjahr, einige Arten gelangen sogar in das Benthos. Nach der Eisschmelze wird vorwiegend im sehr kurzen Sommer anorganischer Kohlenstoff durch Phytoplankton gebunden (Primärproduktion) und gelangt über die Nahrungskette oder über Sedimentationsprozesse schließlich ins Benthos. Im Einzelnen stellten sich Fragen zu folgenden Themenkomplexen: a.) die Bestimmung der Primärproduktion sowie die Artenzusammensetzung und Verteilung der planktischen Algen, b.) die Herausarbeitung der wichtigen Rolle des Epibenthos bei der Transformation organischen Kohlenstoffes mit Hilfe von Respirationsversuchen und bildgebender Verfahren, c.) die Quantifizierung von Stoffflüssen.

#### Ergebnisse

Die Phytoplanktongemeinschaften der Laptev-See wurden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Ökologie untersucht. Es konnten deutliche Unterschiede zwischen den Phytoplanktongemeinschaften der drei Jahreszeiten unterschieden werden. Im Frühjahr wurden auf den nördlichen Stationen Phytoplanktonblüten unter dem Eis beobachtet mit maximal  $7,4 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-3}$ , an den südlichen Stationen wurden Chl *a*-Konzentrationen von  $0,1\text{-}1,3 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-3}$  angetroffen. Im Sommer war die Biomasse generell höher und zeigte ebenfalls vereinzelt Phytoplanktonblüten. Während des Herbstes war die Phytoplanktonbiomasse weit geringer als während der anderen Jahreszeiten. Zur Gesamtbiomasse der Phytoplankter und Bakterien trugen Bakterien im Mittel mehr als 50% bei.

Die meisten der identifizierten Phytoplanktonarten waren euryhaline Formen, die ein arktisch-boreales Verbreitungsgebiet besitzen. Während des Frühjahrs und Sommers waren Diatomeen hinsichtlich der Abundanz und Biomasse das bedeutendste Taxon der Phytoplankter  $>15\ \mu\text{m}$ . Zum Herbst hin nahm der Anteil der Dinoflagellaten zu. Im Bereich des Lena-Deltas waren zu allen Jahreszeiten Chlorophyceen vorhanden.

Die Faktorenanalyse wies deutliche Korrelationen zwischen der Biomasse der Phytoplankter  $\leq 15\ \mu\text{m}$ , dem Chl *a*-Gehalt und der Primärproduktionsrate nach. Die Entwicklung des Phytoplanktons in der Laptev-See wird ähnlich wie aus anderen arktischen Gebieten beschrieben. Die aus den Chl *a*-Konzentrationen bestimmten Biomassen dagegen waren im Vergleich zu den Maximalwerten anderer arktischer Untersuchungen eher gering, die in dieser Untersuchung ermittelten maximalen POC-Gehalte hingegen hoch. Die Bedeutung des Einstroms der Lena in das Untersuchungsgebiet konnte mit der vorliegenden Untersuchung besonders im südlichen Bereich der Laptev-See beschrieben werden. Wie aus anderen Ästuargebieten berichtet, machten hier vermutlich allochthone Algen einen Teil des Phytoplanktons aus.

Die Verteilung der Biomassen und Abundanzen des Zooplanktons, unter besonderer Berücksichtigung kleiner Copepodenarten, sowie der Einfluss steuernder Faktoren wurden im Rahmen einer Diplomarbeit von Janna Peters (2001) untersucht. Die Gesamtabundanzen des Zooplanktons schwankten stark zwischen 815 Individuen  $\text{m}^{-3}$  im Osten und 9.177  $\text{m}^{-3}$  im Ausstrombereich der Lena. Höchste Zooplanktonbiomassen fanden sich im Südwesten der Laptev-See, die geringsten im Osten. In der Biomassenverteilung der einzelnen Taxa zeigten sich deutliche Unterschiede. Während die westlichen und nördlichen Stationen durch große Copepoden der Gattung *Calanus* geprägt wurden, trugen im Ausstrombereich der Lena kleine neritische Arten, wie *Drepanopus bungei*, *Pseudocalanus major* und *Acartia longiremis*, durch extrem hohe Abundanzen wesentlich zur Biomasse bei. Es wurde deutlich, dass die Laptev-See zumindest regional als ein für arktische Verhältnisse sehr produktives Gebiet einzuschätzen ist. Ein Vergleich mit früheren Untersuchungen zeigte eine stabile regionale Abgrenzung der Gemeinschaften. Es lässt sich ein steuernder Einfluss des Flusswassers, gemessen an den Parametern Oberflächensalzgehalt und -temperatur, auf die Zusammensetzung des Zooplanktons vermuten. Weder die Zooplanktonverteilung noch die Abundanzen oder Biomassen des Zooplanktons zeigten einen Zusammenhang zum Chlorophyll *a*-Gehalt.

Lipidklassen- und die Fettsäurezusammensetzung von sieben Copepoden- und drei Amphipodenarten, sowie von Mysidaceen und Chaetognathen zur Bestimmung von Ernährungs- und Überwinterungsstrategien wurden untersucht.

Während bei den Copepoden große Mengen Wachsester nachgewiesen wurden, speicherten die Amphipoden, Mysidaceen und Chaetognathen hauptsächlich Triacylglycerine als Reservestoff. Sowohl der über die C:N-Verhältnisse errechnete Gesamtlipidgehalt der Copepoden von 50% bis 60% des Trockengewichtes als auch die hohen Wachsestergehalte

zwischen 46% und 90% der Gesamtlipide zeigten, dass bereits eine umfangreiche Lipidanreicherung stattgefunden hat. Die Fettsäureanalyse zeigte bei allen Taxa einen hohen Anteil der trophischen Markerfettsäuren 16:1(n-7) und 20:5(n-3), was auf eine durch Diatomeen dominierte Ernährung der Zooplankter schließen lässt. Es ist zu vermuten, dass die Copepoden, besonders *Acartia longiremis*, neben dem Phytoplankton auch verstärkt bakterivore Protozoen oder terrigenes Material als Nahrung nutzen.

Die Abgrenzung faunistischer Gemeinschaften und die Analyse ihrer räumlichen Verteilung im Zusammenhang zu abiotischen Umweltbedingungen waren Gegenstand einer Diplomarbeit von M. Steffens (2001). Neben der Wassertiefe und den bodennahen Wassertemperaturen und -salinitäten wurden die mittlere jährliche Eisbedeckung sowie die Anteile der Korngrößenfraktionen Sand, Silt und Ton im Oberflächensediment berücksichtigt. Es wurden 265 Arten mit insgesamt 58.683 Individuen bestimmt. Die artenreichsten Großtaxa stellten die Gruppen der Crustacea (94 Arten), Polychaeta (67 Arten) und Mollusca (43 Arten) dar. Des Weiteren wurden Arten der Bryozoa (31 Arten), Echinodermata (14 Arten), Cnidaria (7 Arten), Sipunculida (4 Arten), Pycnogonida (3 Arten) und Tunicata (1 Art) gefunden.

Die Abgrenzung faunistischer Gemeinschaften ergab eine deutliche Tiefenzonierung, die sich sowohl in der Verteilung der Abundanzen als auch in der Zusammensetzung der Gemeinschaften widerspiegelt. Die Stationen der Gemeinschaft FLACH wurden durch Mollusken und Crustaceen dominiert. Die Stationen der Gemeinschaft MITTEL waren durch eine deutliche Dominanz der Muschel *Portlandia arctica* gekennzeichnet, während in der Gemeinschaft TIEF neben *Portlandia arctica* die Muschel *Nuculoma bellotii* sowie die Schlangensterne *Ophiocten sericeum* und *Ophiura sarsi* dominierten.

Die Tiefenzonierung der Gemeinschaften wird vermutlich durch mit der Tiefe korrelierte Umweltfaktoren bedingt. Es ist zu vermuten, dass die faunistische Zusammensetzung im flachen Bereich insbesondere durch physikalische Störungen verursacht wird, beispielsweise durch den Süßwasser- und Sedimenteintrag der großen sibirischen Flüsse Lena und Yana bzw. durch eine direkte Eiseinwirkung aufgrund von Ankereis oder „strandender“ Eisschollen. Die geringen Artenzahlen und Diversitäten sowie die hohe Abundanz beweglicher und opportunistischer Tiere wurden als Indiz für die Existenz von physikalischen Störungen in diesem Lebensraum angesehen. Im mittleren und tiefen Schelfbereich scheinen die Gemeinschaften insbesondere durch die Sedimentstruktur sowie die hydrographischen Bedingungen geprägt zu werden. Stationen, die im Bereich fluvialer, d.h. warmer, salzarmer und sedimentreicher Wassermassen lagen, zeigten hohe Feinsedimentgehalte im Oberflächensediment und wurden deutlich durch detritovore Muscheln wie *Portlandia arctica* und *Nuculoma bellotii* dominiert. Es wurde vermutet, dass an diesen Stationen hohe Sedimentationsraten die Existenz suspensionsfressender Organismen beeinträchtigen und die Dominanz detritusfressender Organismen begünstigen. Die höchsten Diversitäten fanden sich auf Stationen, die im Grenzbereich unterschiedlicher Wassermassen lagen. Die Vermischung von Arten aus unterschiedlichen Faunenprovinzen wirkt

sich wahrscheinlich positiv auf die Diversität dieser Übergangsregionen aus. Für die Station mit der höchsten Diversität wurde vermutet, dass sich das Vorhandensein von gemäßigten Störungen durch Verringerung der Nischenbreite positiv auf die vorgefundene Diversität auswirkte.

Die Zusammenführung der Daten für die Stoffflüsse in den verschiedenen Habitaten erfolgte parallel zu den laufenden Arbeiten. Die Ergebnisse der Untersuchungen aus dem Pelagial und Benthos lassen auf eine enge Kopplung zwischen den Habitaten schließen. Die Qualität und Quantität von Nahrung für das Benthos hängt unter anderem von folgenden Faktoren ab: Primärproduktion, Phytoplankton-Sinkraten, Zooplankton-Fressraten und Nähe zu von Land stammenden Quellen (z.B. Flussmündungen, Küstenerosionszonen). Die benthische Biomasse reflektiert hierbei die Prozesse der darüber liegenden Wassermassen und integriert diese über saisonale und jährliche Ereignisse.

Im flachen Teil der Laptev-See gibt es reiche benthische Populationen. Es wird deutlich, dass es zusätzliche Nahrungsressourcen geben muss. Diese könnten durch Flusseintrag oder Advektion zur Verfügung gestellt werden. Die Primärproduktion ist in einigen Gebieten auch im Vergleich zu anderen arktischen Regionen hoch ("Lena"). Es zeigt sich, dass in diesem Flachwassergebiet dem Zooplankton eine wichtige Rolle im Energiefluss zukommt.

### **Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Die im Projektvorhaben „Laptev-See 2000“ geschilderten Ziele zur Beschreibung und Quantifizierung der Vernetzung und Stoffflüsse im biologischen System Meereis-Pelagial-Benthos sowie die Erforschung der Belastbarkeit der Organismen durch Umweltveränderungen dienen der Erforschung von Klimaänderungen. Die Verknüpfung der gewonnenen biologischen Daten mit den Ergebnissen aus anderen deutschen und russischen Teilprojekten (Geologie; Ozeanographie, Hydrochemie) führen erstmalig zu einem Modell des biologischen Systems Laptev-See sowie von dessen Bedeutung für die belebte und unbelebte Umwelt. Dies ist bisher in nur wenigen Studien in anderen Meeresgebieten gelungen. Weiterführend gehen die „biologischen Daten“ in größerskalige Klimamodelle, die federführend von den russischen Partnern erstellt werden, ein.

### **Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Es sind keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt.

### **Erfolgte und geplante Veröffentlichungen**

Siehe Liste der Veröffentlichungen (Anhang).

### **Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Siehe Tabelle 2.

## **Teilprojekt 2: Terrestrische Dynamik in der Laptev-See-Region**

### **Eingehende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse des Teilprojekts**

Im Teilprojekt 2 „Terrestrische Dynamik in der Laptev-See-Region“ sind die Themenfelder zusammengefasst, in denen spezifisch landbezogene Fragen zur Permafrost-Dynamik der Laptev-See-Region bearbeitet wurden. Während der Synthesephase wurden die erzielten Ergebnisse im Zusammenhang des Land-Ozean-Systems Laptev-See interpretiert und unter Einbeziehung von WissenschaftlerInnen der anderen Teilprojekte Querverbindungen innerhalb dieses Systems erarbeitet. Die gewonnenen Ergebnisse werden nachfolgend für die im Antrag beschriebenen Synthesefelder „Küstendynamik im Bereich der Laptev-See“, „Rekonstruktion der Klima- und Umweltgeschichte anhand synkryogener Permafrostabfolgen“ und „Bilanzierung und Dynamik von Treibhausgasen im Permafrost“ vorgestellt.

### Synthesefeld 1 „Küstendynamik im Bereich der Laptev-See“

Während der Synthesephase konzentrierten sich die Arbeiten im Wesentlichen auf die folgenden Themenfelder:

- Abschließende Synthese zur Genese des Lena-Deltas
- Quantifizierung des Sedimenteintrages in die Laptev-See durch Küstenerosion und anschließende Bilanzierung des Sedimenthaushaltes unter Einbeziehung aller relevanten Quellen und Senken
- Quantitative Erfassung des organischen Kohlenstoffeintrages in die Laptev-See und Ostsibirischen See durch Küstenerosion und Flusseintrag
- Bilanzierung des Sediment- und organischen Kohlenstoffeintrages in den gesamten Arktischen Ozean unter Anwendung der Ergebnisse aus der Laptev-See und Ostsibirischen See

Weiterhin konnten vergleichende Untersuchungen zum Flußeintrag in die Kara-See durchgeführt werden. Ein zusätzlicher Schwerpunkt, der teilweise bereits über die eigentlichen Ziele der Synthesephase hinausgeht, wurde auf die Dynamik arktischer Küsten gelegt. Im Rahmen internationaler Projekte wird die Küstendynamik als Funktion von Umwelteinflüssen (Wind, Wellentätigkeit etc.) und Morphologie, Geologie und Geokryologie der Küste untersucht und mit Hilfe eines Geo-Informationssystems quantitativ erfaßt. Besondere Bedeutung haben dabei die extrem sensibel auf Erosionsprozesse reagierenden Permafrost-Küsten. Die Ergebnisse der oben genannten Themenfelder und der weiteren Schwerpunkte wurden in einer Reihe von rezensierten Publikationen dokumentiert (siehe Liste der Veröffentlichungen) und lassen sich wie folgt zusammenfassen:



Basierend auf den umfangreichen sedimentologischen, mineralogischen und geochemischen Untersuchungen und einer Vielzahl von Datierungen konnte in einer abschließenden Synthese zur Genese des Lena-Deltas gezeigt werden, dass das als Lena-Delta bezeichnete Gebiet aus Erosionsresten von Eiskomplex-Ablagerungen und fluvialen Sedimenten spät-pleistozänen Alters sowie eigentlichen Delta-Ablagerungen holozänen Alters zusammengesetzt ist. Die tatsächliche Delta-Sedimentation begann vor ca. 6.000 Jahren, nachdem der Meeresspiegel in der Region in etwa sein heutiges Niveau erreicht hatte. Das heutige Lena-Delta wirkt als Filter für die Bodenfracht der Lena, bildet aber keinen Akkumulationsraum für die Schwebfracht.

Die Quantifizierung von Küstenerosionsraten anhand der Vermessung der Küstenlinien an Schlüssel lokalitäten und der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern der Küstenregion zeigte, dass die Erosion permafrostdominierter Küsten einen entscheidenden Beitrag zum Sedimenteintrag in die Laptev-See liefert, der mindestens genauso groß wie der Flusseintrag ist und zur Erfassung des Sedimenthaushaltes berücksichtigt werden muss. Eine quantitative Abschätzung des Sedimentbudgets der Laptev-See während der letzten 5.000 Jahre verdeutlichte, dass Sedimenteintrag (Flusseintrag und Küstenerosion) und -austrag (Meereistransport, Bodenströmungen, Sedimentation) gut bilanziert werden können (Abb. 2).

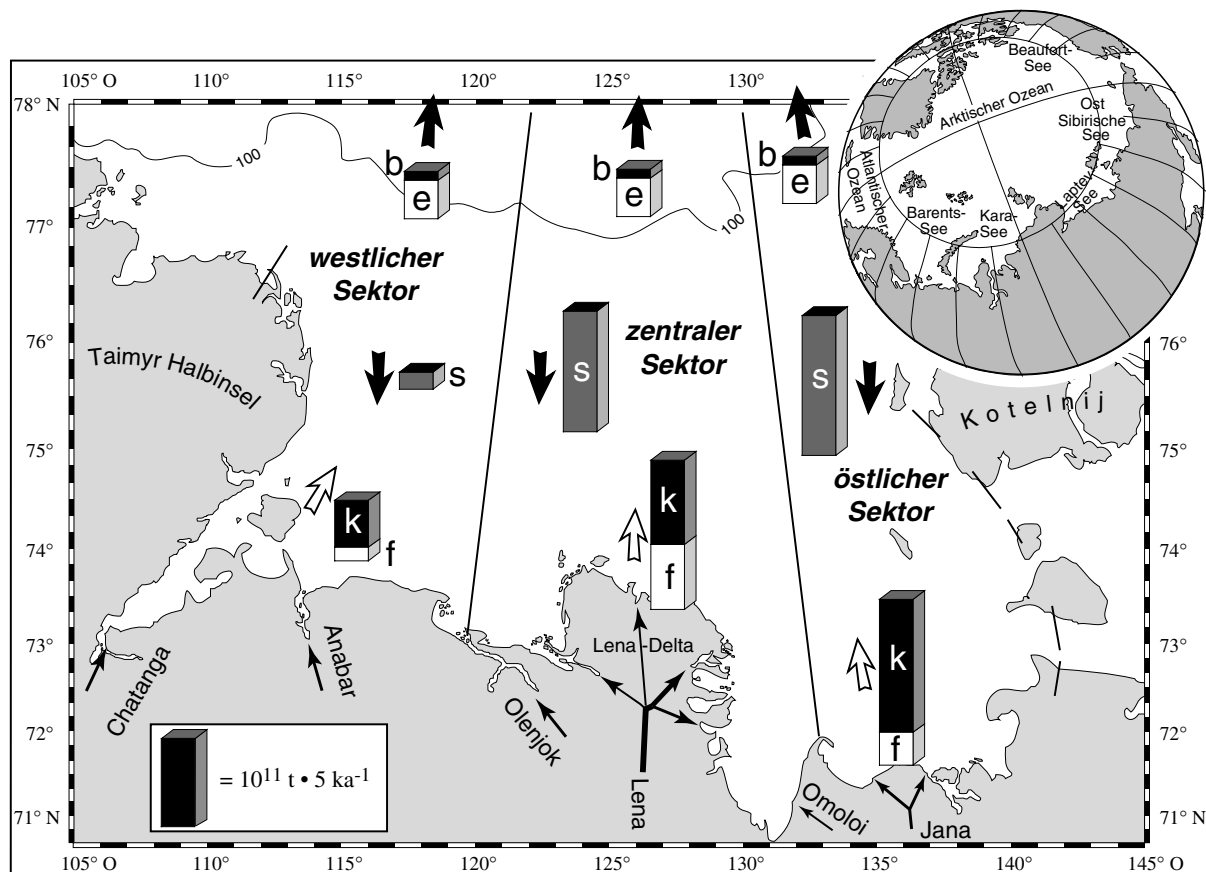


Abb. 2: Zusammenstellung des Sedimenthaushaltes der Laptev-See während der letzten 5.000 Jahre. Sedimenteintrag ist durch weiße Pfeile, Sedimentaustag durch schwarze Pfeile gekennzeichnet. f = Flusseintrag, k = Eintrag durch Küstenerosion, s = Sedimentation, e = Eisexport, b = Bodenströmungen. Die Höhe der Säulen beschreibt die Sedimentmenge der einzelnen Komponenten.

Ausgehend von den Ergebnissen zum Sedimenteintrag durch Küstenerosion und den Kohlenstoffgehalten (TOC) der Küstensedimente konnte ebenfalls der TOC-Eintrag durch Küstenerosion in die Laptev- und die Ostsibirische See quantitativ erfasst werden. Es zeigte sich, daß in der Laptev-See der TOC-Eintrag durch Küstenerosion zwar deutlich geringer als der fluviale TOC-Eintrag ist (ca. 25% des Flusseintrages), er aber trotzdem nicht vernachlässigt werden kann. In der Ost-Sibirischen-See dagegen übersteigt der TOC-Eintrag durch Küstenerosion den Flusseintrag, da große Flüsse wie die Lena fehlen und die Küsten nahezu ausschließlich aus Eis-Komplex-Sedimenten gebildet werden, die große Erosionsraten aufweisen.

Auf der Basis der für die Laptev- und die Ostsibirische See vorliegenden eigenen detaillierten Ergebnisse und gestützt durch eine Literaturrecherche konnte eine zirkumarktische Abschätzung des aus Küstenerosion resultierenden Sediment- und Kohlenstoffeintrages in den Arktischen Ozean publiziert werden (Tab. 3).

Tabelle 3: Sediment und TOC-Eintrag durch Küstenerosion.

	<b>Sediment-Eintrag</b>	<b>TOC-Eintrag</b>
	(10 <sup>6</sup> t y <sup>-1</sup> )	(10 <sup>6</sup> t y <sup>-1</sup> )
Weißes Meer	60	0.3
Barents-See	59	0.5
Kara-See	109	1
Laptev-See	58.4	1.8
Ostsibirische See	66.5	2.2
Chukchi-See	70	0.8
Beaufort-See	7.9	0.09
<b>Summe</b>	<b>430.8</b>	<b>6.69</b>

Der zirkumarktische Vergleich zwischen dem TOC-Eintrag durch Flüsse und Küstenerosion ist in Abbildung 3 dargestellt. Neben dem Fluss- und Küstenerosionseintrag wurden auch der äolische Eintrag und der Meereistransport berücksichtigt, die aber in Bezug auf die Gesamtmasse von untergeordneter Bedeutung sind.

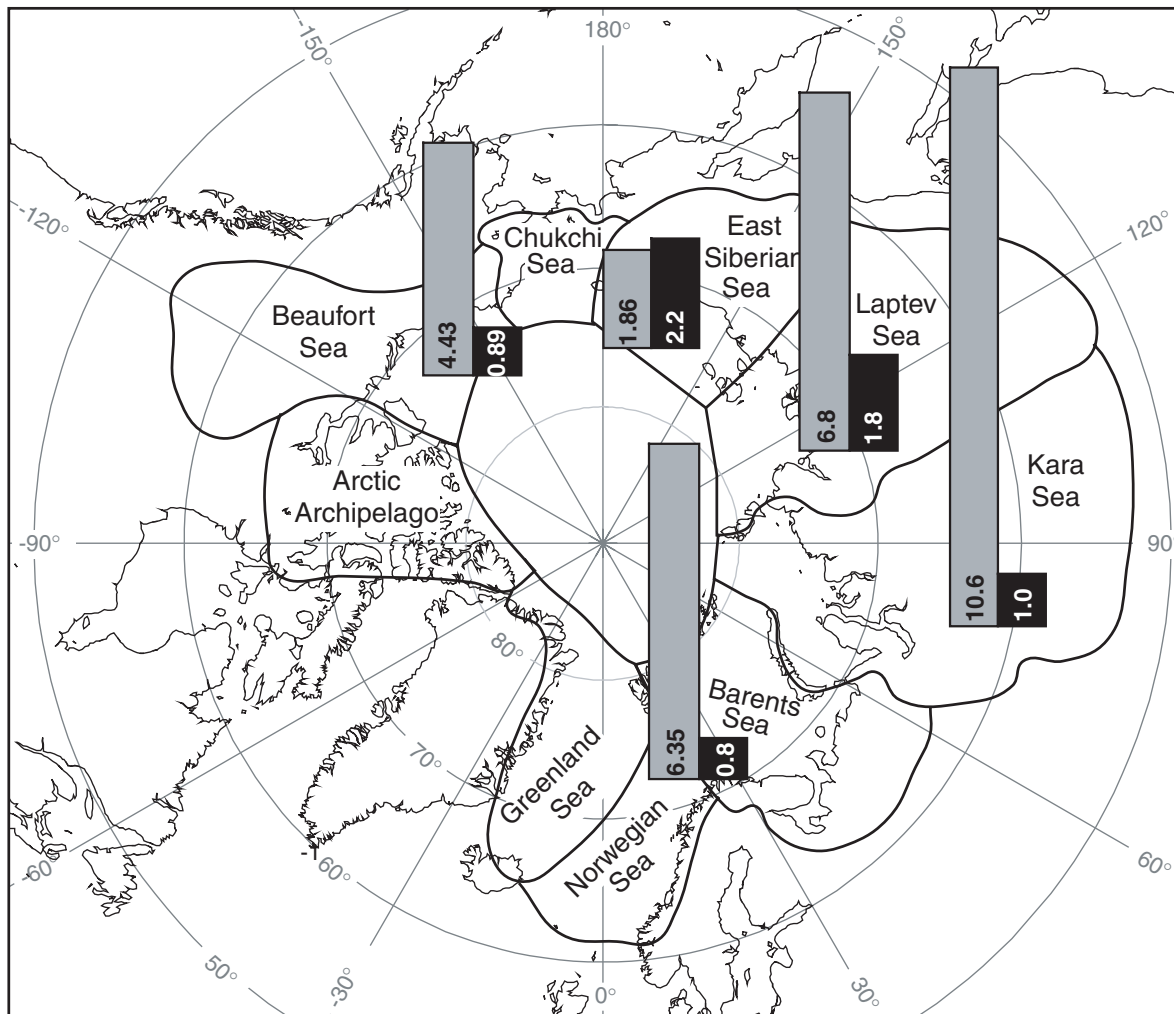


Abb. 3: Zusammenstellung des rezenten Kohlenstoffeintrages in den Arktischen Ozean. Die grauen Säulen repräsentieren den fluvialen Eintrag, die schwarzen Säulen den Eintrag durch Küstenerosion. Die Angaben beziehen sich auf den Gesamt-Kohlenstoff (TOC = total organic carbon).

## Synthesefeld 2 „Rekonstruktion der Klima- und Umweltgeschichte anhand synkryogener Permafrostabfolgen“

Grundlage für die Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte des Küstentieflandes der Laptev-See-Region bilden die multidisziplinären geokryologisch-sedimentologischen, geochemischen und paläoökologischen Untersuchungen von Permafrostabfolgen der Bykovsky-Halbinsel, der Großen Lyakhov-Insel und des Lena-Deltas.

Diese Rekonstruktionen waren mit umfangreichen Altersbestimmungen verbunden, wobei neben Radiokarbondatierungen die Methoden der Infrarot Stimulierten Optischen Lumineszenz (IRSL) und der U/Th-Ungleichgewichte hier erstmals auf Permafrostabfolgen angewandt wurden. Mit dem genannten Methodenspektrum konnten bis zu 200.000 Jahre alte Ablagerungen datiert werden. Die U/Th-Datierungen wurden vor allem auf gefrorene Torfhorizonte angewandt, deren Entstehung über den Datierungsbereich der

Radiokarbondatierung hinausreicht. IRSL-Datierungen wurden im Wesentlichen für klastische Sedimente mit z.T. geringen organischen Anteilen genutzt, deren Alter nicht mit Radiokarbondatierungen bestimmt werden konnten. Beim Vergleich von IRSL- und  $^{14}\text{C}$ -Datierungen im überlappenden Altersbereich von 40-50 ka ergaben sich eine Reihe von Differenzen (Grosse et al., submitted). Diese können sowohl durch spezielle physiko-chemischen Bedingungen im Permafrost hinsichtlich Stoffmigration, radioaktiven Ungleichgewichten oder Druckbedingungen verursacht sein als auch durch schwankende Intensitäten der kosmischen Strahlung im Spätpleistozän. Die konkreten Ursachen müssen in der Zukunft noch genauer untersucht werden, da sie grundlegend für eine gesicherte Datierung gefrorener Sedimente sind.

Die ältesten datierten Permafrostablagerungen mit syngenetischen Eiskeilen stammen von der Südküste der Großen Lyakhov-Insel. Das Alter einer Torflinse ca. 1 m über Strandniveau wurde mit  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -Datierung auf  $200 \pm 3$  ka bestimmt (Schirrmeister et al., 2002). Die Akkumulation dieser als saalezeitlicher Eiskomplex bezeichneten Permafrostsequenz erfolgte in einer polygonalen Grastundra. Entsprechend den isotoopen- und pollenanalytischen Ergebnissen herrschte bereits in dieser Periode eine höhere Kontinentalität als heute. Die Umweltbedingungen waren ähnlich denen im Spätpleistozän. Vor ca. 100 ka wurde dieser Eiskomplex teilweise erodiert. Ein markanter fazieller Wechsel ist nachweisbar, der wahrscheinlich mit einem tektonischen Ereignis vor 100 bis 150 ka im Zusammenhang stand. Nachfolgend kamen eisarme, feinkörnige, gut sortierte, lössartige Sedimente unter extrem trocken-kalten Umweltbedingungen zur Ablagerung. Zeitlich noch nicht exakt eingeordnet werden konnte die Entwicklung von Thermokarstseen unterschiedlicher Generationen mit zeitweisen Trockenphasen und Ausbildung von Eiskeilpolygonnetzen und Eiskeilpseudomorphosen unter humideren Bedingungen. Eine IRSL-Datierung aus diesen Horizonten ergab  $109 \pm 16$  ka. Bei drei weiteren Proben weist der Sättigungszustand auf ein IRSL-Alter  $>150$  ka hin. Die Analyse der fossilen Insektenfauna (Kuzmina, 2001) und neueste Ergebnisse von Pollenanalysen aus Eiskeilpseudomorphosen deuten auf eine eemzeitliche Strauchtundra hin, ähnlich wie sie im frühen Holozän existiert hat.

An Permafrostsequenzen im westlichen Lena-Delta wurde entlang des Olenyok-Kanals eine scharfe, vermutlich ebenfalls tektonisch verursachte Faziesänderungen zwischen den 50 bis 100 ka alten Floodplain-Ablagerungen der Paläo-Lena und spätweichselzeitlichen Eiskomplexablagerungen bestimmt, die vor ca. 50-60 ka stattgefunden hat (Schwamborn et al., 2002; Schirrmeister et al., submitted). Erstmals wurde anhand stabiler Isotopenanalyse nachgewiesen, dass Eiskeile aus Überflutungswasser gebildet werden können.

Die umfangreichsten Paläoklima- und Paläoumweltinformationen lieferten die Untersuchungen des spätweichselzeitlichen Eiskomplexes, der in allen Untersuchungsgebieten mit Mächtigkeiten zwischen 10 bis 40 m aufgeschlossen ist. So erfolgte z.B. vor 50-60 ka im Gebiet der Großen Lyakhov-Insel ein allmählicher Wandel der Landschaft zu einer sumpfigen,

schlecht drainierten polygonalen Tundra, auf der sich der Eiskomplex, ein eisreicher Horizont mit torfführenden Paläoböden und mächtigen syngenetischen Eiskeilen entwickelte. IRSL-Datierungen von Eiskomplexablagerungen der Bykovsky-Halbinsel sind bis ca. 50 ka in guter Übereinstimmung mit den entsprechenden Radiokarbondatierungen. Für diese Eiskomplex-Sequenz belegen alle genutzten Klimaindikatoren, daß während seiner Akkumulation zwischen ca. 50-60 ka und 12 ka BP extrem kontinentale Klimabedingungen herrschten. Dabei konnte der mehrfache Wechsel von arideren Abkühlungs- und humideren Erwärmungsphasen belegt werden. Nach Rekonstruktionen basierend auf der isotopischen Zusammensetzung der Eiskeile (Meyer et al., 2002, in press) blieben dabei die Wintertemperaturen stets niedriger als heute (Abb. 4). Die Sommertemperaturen dagegen übertrafen in kurzen Warmphasen die heutigen um 1-5°C nach Rekonstruktionen mit Hilfe fossiler Insekten (Sher et al., 2002) und um 3-8°C nach Rekonstruktionen, die paläobotanische Daten nutzen (Kienast, 2002). Umfangreiche Radiokarbondatierungen an Knochen von Großsäugern belegen ebenfalls die wechselnden, aber insgesamt extrem kontinentalen Klimabedingungen mit günstigen Lebensbedingungen zwischen 50 und 25 ka BP und dem rapiden Rückgang des Mammuts und anderer Arten zwischen 20 und 15 ka BP (Kuznetsova et al., 2001, 2002).

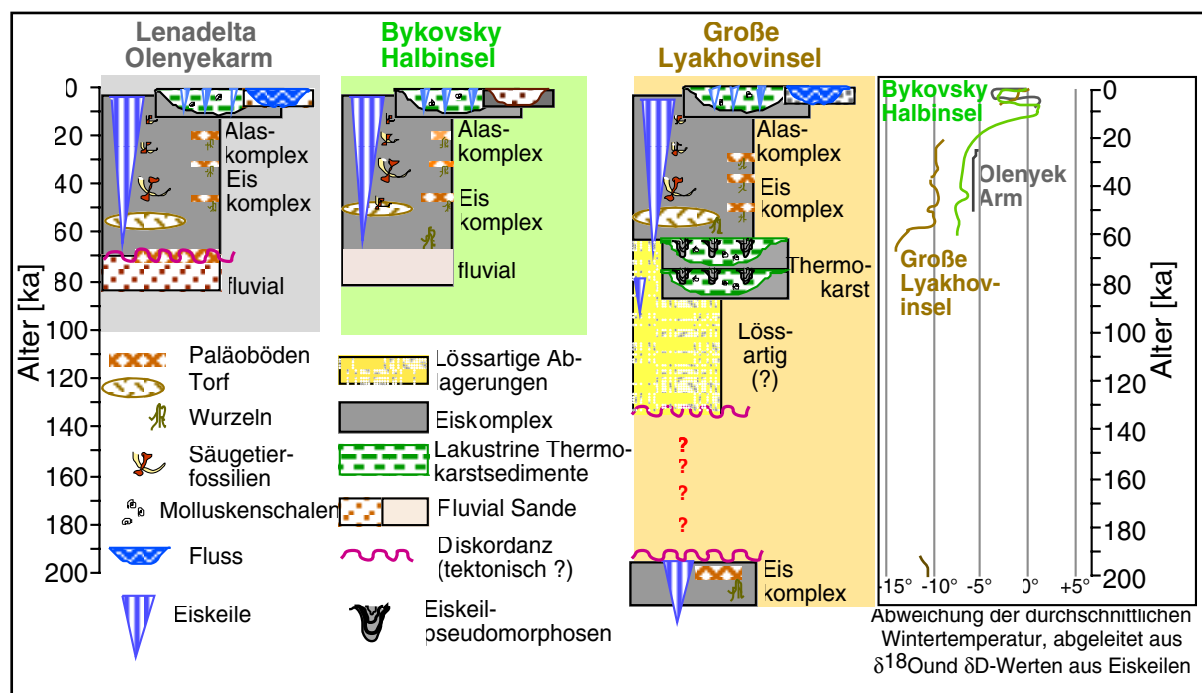


Abb. 4: Stadien der spätquartären Landschaftsentwicklung im Gebiet der heutigen Laptev-See-Küste und Trends der Veränderungen von Wintertemperaturen.

Am Ende des Pleistozäns entstanden im gesamten Untersuchungsgebiet infolge der beginnenden Klimaerwärmung großräumige Thermokarstsenken und Thermokarstseen. Nachfolgend kam es zur Verlandung und Ausbildung von Eiskeilpolygonnetzen und später auch Eiskeilpseudomorphosen in den Ablagerungen des Alaskomplexes. Seit dem frühen Holozän und bis heute anhaltend verstärkten Thermoabrasion an den Küsten infolge des holozänen

Meeresspiegelanstieges die Abtragung der Eiskomplex- und Alaskomplex-Ablagerungen. Parallel dazu kam es zur Ausbildung von Thermoerosionstätern sowie zu fluvialer Erosion und Akkumulation.

Neben der Ableitung der regionalen Paläoumweltentwicklung gab es weitere wichtige Ergebnisse, die sowohl für genetische Interpretationen als auch für paläoklimatische Aussagen von großer Bedeutung sind. So konnte anhand von Schwermineralanalysen nachgewiesen werden, dass die Liefergebiete für die Eiskomplexablagerungen im Untersuchungsgebiet jeweils die nahe gelegenen Gebirge sind und kein äolischer oder fluvialer Ferntransport stattfand (Schwamborn, 2002; Siegert et al., 2002).

Hydrochemische und isotopengeochemische Untersuchungen von Eiskeilen haben das große Potenzial dieser bisher wenig beachteten Paläoumweltarchive bewiesen. Neben der eindeutigen stratigraphischen Zuordnung von Eiskeilgenerationen konnten erste Trends der spätquartären Klimaentwicklung anhand der  $\delta^{18}\text{O}$ - und  $\delta\text{D}$ -Werten vorgenommen werden (Abb. 4) und im Vergleich mit den Bioindikator-Daten Veränderungen in der Kontinentalität abgeleitet werden (Meyer et al., 2002, in press). Auf Veränderungen in der atmosphärischen Zirkulation weisen die festgestellten Wechsel in den Niederschlagsquellen am Ende des Pleistozäns hin (Abb. 5), die mit dem Wegfall des orographischen Hindernisses des Eurasischen Eisschildes begründet werden. Ergebnisse der Untersuchung stabiler Isotope an rezenten Eiskeilen und an Niederschlägen bilden die Grundlage für die zukünftige Entwicklung eines "Isotopen-Paläothermometers".

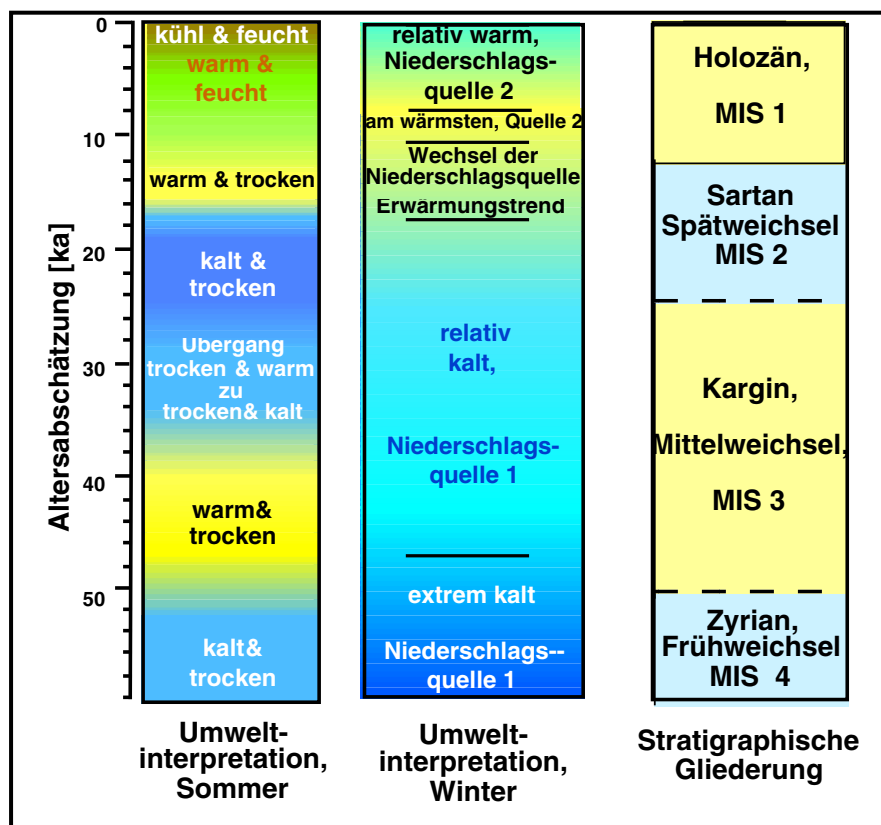


Abb. 5: Interpretation der spätquartären Umweltbedingungen im Gebiet der Bykovsky-Halbinsel.

Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, dass für die Rekonstruktion der Paläoumweltbedingungen Beobachtungen des rezenten periglazialen Milieus unbedingt erforderlich sind. Daher wurden zusätzlich botanische Untersuchungen der Tundravegetation durchgeführt, geokryologische Studien zur Eiskeilgenese in Angriff genommen und die vorherrschenden landschaftsformenden nivalen Prozesse im Untersuchungsgebiet bestimmt.

### Synthesefeld 3 „Bilanzierung und Dynamik von Treibhausgasen im Permafrost“

Im Rahmen des Projektes „System Laptev-See 2000“ wurden in den Jahren 1998-2001 insgesamt 4 Expeditionen in das Lena-Delta durchgeführt. Die dabei erhaltenen Datensätze zur Spurengasfreisetzung ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) aus einer typischen Permafrostlandschaft des Lena-Deltas und den zugrunde liegenden mikrobiellen Prozessen in Permafrostböden wurden in der Synthesephase ausgewertet. Entsprechende Publikationen sind eingereicht bzw. befinden sich in Vorbereitung (siehe Literaturverzeichnis). Die Ergebnisse stellen sich im Detail wie folgt dar:

Das Mikrorelief großer Gebiete des Lena-Deltas ist durch Frostmusterbildungen der sogenannten Eiskeilpolygone charakterisiert. Aufgrund dieses durch Gefrier- und Tauprozesse bedingte Mikroreliefs variieren die Boden- und Vegetationseigenschaften auf engem Raum (Pfeiffer et. al., 2002; Fiedler et al., submitted). Die torfreichen Böden im Polygonzentrum (*Typic Historthels*) sind durch einen hochanstehenden, oberflächennahen Wasserspiegel und die rezente, vorwiegend anaerobe Akkumulation organischer Substanz gekennzeichnet. Die trockeneren Böden des Polygonwalls (*Glacic Aquiturbels*) sind durch einen deutlich unter der Geländeoberfläche liegenden Wasserspiegel, eine geringe rezente Akkumulation organischer Substanz und ausgeprägte Kryoturbationsmerkmale gekennzeichnet. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff sind um ein vielfaches geringer als in den nassen Böden der Polygonzentren.

Diese kleinräumige Variabilität der ökologischen Boden- und Standorteigenschaften hat großen Einfluss auf die Bodenorganismen und damit auf die mikrobiologischen Prozesse, die am Kohlenstoffkreislauf beteiligt sind. Die Methanemissionen des Polygonzentrums und des Polygonwalls unterscheiden sich signifikant voneinander: Die mittlere Methanemissionsrate für 1999-2002 betrug für das Polygonzentrum  $57,5 \pm 8,6 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , während der Polygonwall mit  $6,2 \pm 2,1 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  eine um das 10fache niedrigere Methanfreisetzung aufwies. Die in diesem Projekt durchgeführten  $\text{CO}_2$ -Emissionsmessungen, die zwischen  $-450$  und  $3280 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  schwankten, werden im Rahmen einer gemeinsamen Publikation zum aeroben Kohlenstoffumsatz mit dem Kieler Teilprojekt (TP1-Synthese) bearbeitet (Bölter et al., in prep.).

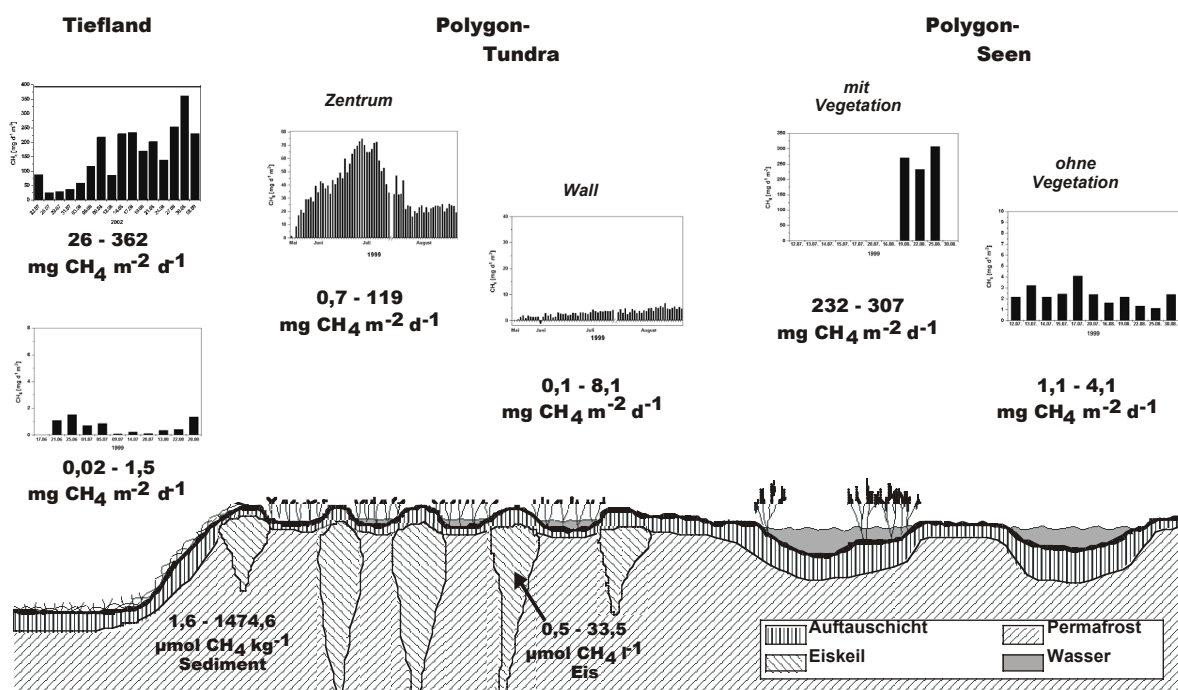


Abb. 6: Saisonale und räumliche Schwankungen der Methanflüsse aus verschiedenen Landschaftseinheiten des Lena-Deltas.

Die hohen sommerlichen Methanfreisetzungsraten weisen für verschiedene untersuchte Landschaftseinheiten (Böden, eisreiche Sedimente, Seen, Eiskeile) starke räumliche und saisonale Schwankungen auf (Abb. 6). Der ausgeprägte saisonale Verlauf der Methanfreisetzung, wie er für die Saison 1999 auf dem Dauermessfeld beobachtet wurde, konnte durch Feldstudien zu unterschiedlichen Zeiten der Vegetationsperiode auf die zugrunde liegenden mikrobiologischen Prozesse und die beeinflussenden Umweltvariablen zurückgeführt werden (Wagner et al., submitted). Bei hoch anstehendem Wasserspiegel, wie zu Beginn der Saison, dominiert die anaerobe Methanbildung, wohingegen die sauerstoffabhängige Methanoxidation nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dies führt zu den hohen Emissionsraten, wie sie beispielsweise im Frühsommer 1999 gemessen wurden (100-120 mg CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, Abb. 6). Im weiteren Verlauf der Saison bei sinkenden Bodenwasserständen dreht sich das Verhältnis der Aktivitäten um, wobei die Methanoxidation zum Teil höhere Raten erreichte als die Methanbildung. Dass dennoch eine zwar niedrigere, aber signifikante Methanfreisetzung gemessen werden konnte, ist in dem Einfluss der Vegetation auf die Methanfreisetzung begründet. Feldstudien an der Segge *Carex aquatilis* zeigten, dass etwa 72% des gebildeten Methans über den pflanzenvermittelten Transport freigesetzt wird, wodurch die mikrobielle Methanoxidation in den aeroben Oberbodenhorizonten überbrückt wird (Kutzbach et al., in prep.). Die niedrige Methanemission der Polygonwälle wurde durch die insgesamt niedrigen mikrobiellen Aktivitäten und durch die geringe Bedeutung der Pflanzen für den Methantransport in diesem Boden bedingt (Abb. 7). Regressionsanalysen zeigen einen signifikanten



Zusammenhang ( $r = 0,94$ ) zwischen der Methanfreisetzung und dem fortschreitenden Auftauen der Böden zu Beginn der Saison, während eine Beziehung der Methanflüsse zur Temperatur nicht aufgezeigt werden konnte.

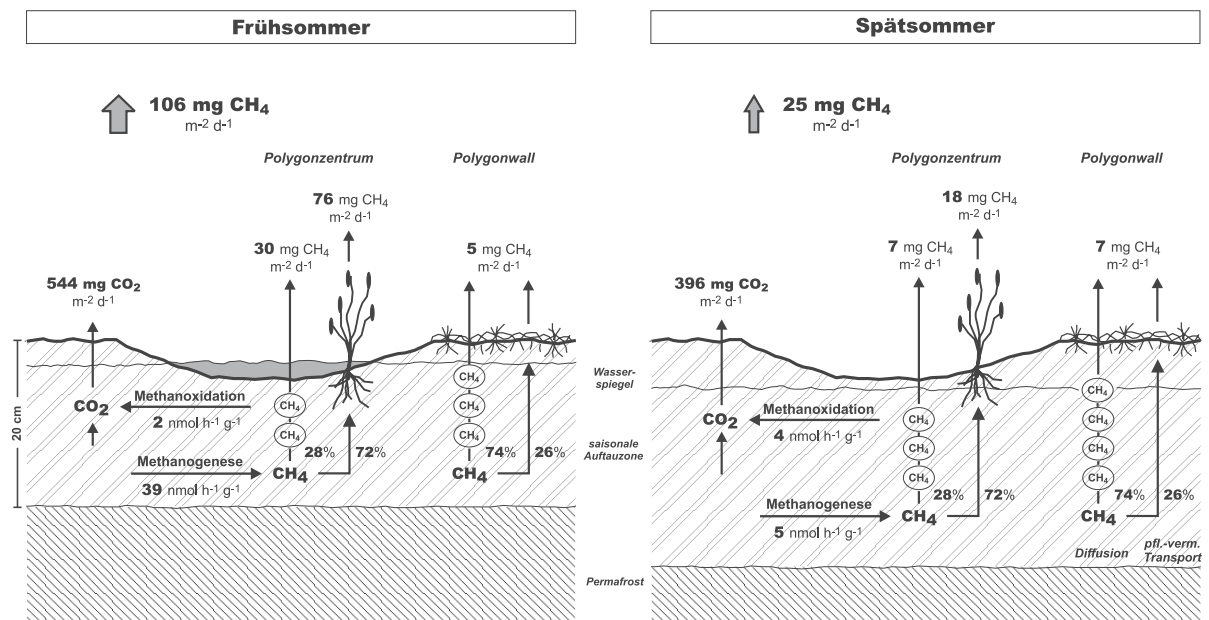


Abb. 7: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse zu den mikrobiellen Prozessen des Methankreislaufs sowie den Methan- und Kohlendioxidemissionsraten einer Polygontundra anhand der Frühjahrs- und Spätsommerbedingungen.

Der Einfluss der Temperatur auf die mikrobiellen Prozesse wurde dabei in weiterführenden In-situ-Untersuchungen und Kältekammerexperimenten untersucht. Methanbildung und -oxidation zeigten eine signifikante Bakterienaktivität bei Temperaturen bis nahe dem Gefrierpunkt, wie sie im Übergangsbereich der saisonalen Auftauzone (active layer) zum Permafrost herrschen. Für die methanogenen Archaeen konnten sogar signifikante Aktivitäten bei Temperaturen bis zu  $-6^{\circ}\text{C}$  in Laborexperimenten nachgewiesen werden. Die Feld- und Laborexperimente zur Methanbildung belegen, dass die Aktivität der methanogenen Archaeen in erster Linie durch das zur Verfügung stehende Substrat gesteuert wird. Die In-situ-Aktivitäten verringerten sich im Laufe der Saison in dem Maße, wie der leichtverfügbare lösliche organische Kohlenstoff (DOC) abnahm. Die In-vitro-Experimente zeigten eindeutig, dass nicht die niedrigen Temperaturen für eine geringe Methanbildung verantwortlich sind, sondern der Mangel an verwertbarem Substrat (z.B. Acetat, Wasserstoff) für die methanogenen Archaeen.

Die Ergebnisse zeigen, dass in den durch niedrige In-situ-Temperaturen gekennzeichneten Permafrosthorizonten oberhalb der Permafrosttafel eine an kalte Temperaturen angepasste Bakteriengemeinschaft (psychrophile Organismen) existiert, während im Oberboden, der zum Teil deutlich höhere sommerliche Temperaturen als  $10^{\circ}\text{C}$  aufwies, eine mesophile

Bakteriengemeinschaft überwiegt. Die angepassten Arten der methanogenen Archaeen bilden daher noch bei abnehmenden und negativen Temperaturen, wie sie während des herbstlichen Rückfrierens der Permafrostböden herrschen, kontinuierlich Methan. Entgegen früherer Annahmen wird Methan also nicht nur während der Vegetationsperiode gebildet, sondern auch in den kalten Übergangszeiten. Das im Herbst eingeschlossene Methan wird im Frühjahr zusätzlich zu dem aktuell gebildeten Methan mit fortschreitendem Auftauen des Bodens freigesetzt und verursacht somit den kontinuierlichen Methananstieg zu Beginn der Vegetationsperiode.

Um die physiologischen Eigenschaften der am Methankreislauf beteiligten Mikroorganismen und ihre Funktion im Ökosystem charakterisieren zu können, wurden sowohl methanogene Archaeen als auch methanotrophe Bakterien aus Permafrostproben angereichert und isoliert. Insgesamt konnten 6 Reinkulturen methanogener Archaeen und 8 Reinkulturen methanotropher Bakterien sowie insgesamt 14 weitere Anreicherungen erzielt werden. Die noch laufende physiologische und phylogenetische Charakterisierung der Organismen konnte für einige methanotrophe Kulturen aufgrund der psychophilen Wachstumscharakteristik eine Anpassung an die extremen In-situ-Temperaturen bestätigen. Die Charakterisierung der Bakterienstämme konnte jedoch in der Synthesephase nicht abgeschlossen werden und wird über die Projektlaufzeit hinaus fortgesetzt. Die Kenntnis der Funktion und Ökologie der am Methanumsatz beteiligten Mikroorganismen stellt neben den Emissionsmessungen und Stoffwechselstudien eine wesentliche Grundlage für das Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs dar. Aus diesen Ergebnissen kann in Zusammenhang weiterer geplanter Untersuchungen an tiefen Permafrostsedimenten die künftige Kohlenstoffdynamik in Permafrostgebieten in Abhängigkeit sich ändernder Umweltparameter abgeleitet werden.

Eine erste Berechnung der Methanfreisetzung für das Untersuchungsgebiet Lena-Delta, als repräsentative Schlüsselregion für die feuchten sibirischen Niederungsgebiete, bezogen auf eine durchschnittliche Vegetationsperiode von 99 Tagen ergibt eine Quellstärke für Methan von  $77 \text{ Gg CH}_4 \text{ yr}^{-1}$ . Diese Abschätzungen aufgrund der mehrjährigen Emissionsraten, die mittels Haubenmessungen ermittelt wurden, werden mit ersten auf mikrometeorologischen Messverfahren (Eddy-Kovarianz) basierende Spurengasflüssen ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) im Sommer 2002 verifiziert. Durch die Fortsetzung dieser Messungen können erstmalig repräsentative Datensätze zu den Spurengasflüssen der Permafrostlandschaften in der sibirischen Arktis bereitgestellt werden. Die mikrobiologischen Prozessstudien zeigen, dass bei einer Erwärmung des Bodens mit fortschreitendem saisonalen Auftauen ein verstärkter anaerober Kohlenstoffumsatz zur Erhöhung der Methanemissionsraten in den sibirischen Tundren führen würde. Die flächenbezogenen Daten zum Methankreislauf stellen eine notwendige Grundlage für die Erstellung eines Boden-Vegetationsmodells zur Abschätzung der Wirkung von Klimaänderungen für arktische Ökosysteme dar. Dafür müssen künftig auch verstärkt andere

relevante Methanquellen wie Eiskeile, eisreiche Permafrostsedimente und Gewässerflächen wie Seen und Flussläufe mit in die Bilanzierung einbezogen werden.

### **Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

#### Synthesefeld 1 „Küstendynamik im Bereich der Laptev-See“

Die gewonnenen Ergebnisse unterstreichen, dass die Küstendynamik für den gesamten Arktischen Ozean eine wichtige Rolle spielt. Die Erosion der arktischen Permafrost-Küsten liefert einen wesentlichen Beitrag zum Materialhaushalt des Arktischen Ozeans, der in früheren Jahren häufig vernachlässigt wurde. Im Hinblick auf mögliche Klimaänderungen und Meeresspiegelschwankungen kommt den extrem sensibel reagierenden Permafrost-Küsten dabei eine besondere Bedeutung zu. Die Arbeiten sind daher mit internationalen Projekten (LOIRA, IBCAO, LOICZ, APARD, ADD etc.) verbunden, das Sekretariat des von IASC und von IPA geförderten Projektes ACD befindet sich derzeit am AWI-Potsdam. Die gewonnenen Ergebnisse werden in internationale, zirkum-arktische Datenbanken und GIS-basierte Karten (IASC-Projekt Arctic Coastal Dynamics ACD: <http://www.awi-potsdam.de/www-pot/geo/acd.html>) integriert und von internationalen Dachorganisationen (z.B. ACSYS) eingebunden.

Weiterhin sind die Ergebnisse von direkter Bedeutung für die im arktischen Küstenbereich angesiedelte Industrie (Hafenbau, Pipelinebau der Erdölindustrie u.a.), es ergeben sich wichtige Informationen zur Schiffbarkeit küstennaher Seewege und zur Beeinflussung des sensiblen arktischen Ökosystems.

#### Synthesefeld 2 „Rekonstruktion der Klima- und Umweltgeschichte anhand synkryogener Permafrostabfolgen“

Die Permafrostsequenzen stellen eine wichtige Ergänzung zu den bekannten glazialen, marinen und limnischen Umweltarchiven der Nordhemisphäre dar und sind vor allem für die quartäre Umweltrekonstruktion in terrestrischen Gebieten von Bedeutung, in denen keine Gletschereiskappen oder keine langfristig existenten Seen auftreten und die erst seit 5-7 ka vom Schelfmeer bedeckt sind. Die Ergebnisse aus den bisher wenig untersuchten Landgebieten Nordostsibiriens bilden eine neue Datenbasis für Klimamodelle und werden für die Evaluierung von Modellen zur Geschichte der Inlandsvereisung Eurasiens genutzt, wie sie im Rahmen des QUEEN-Projektes bzw. des Projektes Eurasien Ice Sheet im LGM angewendet werden.

### Synthesefeld 3 „Bilanzierung und Dynamik von Treibhausgasen im Permafrost“

Die gewonnenen Ergebnisse zeigen die Bedeutung der Tundragebiete Nordostsibiriens für den globalen atmosphärischen Methanhaushalt auf. Durch die Spurengasmessungen konnten erstmalig mehrjährige Datensätze zu den Methanflüssen aus der sibirischen Arktis, die für künftige Bilanzierungen der globalen Methanemissionen aus natürlichen Feuchtgebieten grundlegend sind, zur Verfügung gestellt werden. Die mikrobiologischen Prozessstudien stellen eine wesentliche Grundlage zum Verständnis der Kohlenstoffdynamik in Permafrostböden und der Entwicklung bei sich ändernden Umweltbedingungen dar. Die erarbeiteten Daten werden in das „International Geosphere-Biosphere Programme“ einfließen mit Bezug zu den Unterprogrammen „PAGES“ und „Environmental Biosphere and Molecular Ecology Programme“.

Darüber hinaus können die isolierten kälteangepassten methanotrophen Bakterien in sogenannten Biofiltersystemen zur Reduzierung stark schwankender, nicht abbauwürdiger explosionsfähiger Gasgemische eingesetzt werden. Auf Grund ihrer hohen Methanumsatzraten bei niedrigen Temperaturen könnte der Wirkungsgrad solcher Biofilter verbessert werden. Biofiltersysteme könnten ebenfalls bei der Erschließung von Gas-/Gashydratlagerstätten zur Verminderung unkontrollierter Methanfreisetzungen eingesetzt werden und damit zum aktiven Klimaschutz beitragen. Generell können Bakterienkulturen aus Permafrostböden, deren physiologisch-ökologische Ansprüche ermittelt wurden, zur Reinigung von kontaminierten Permafrostböden eingesetzt werden.

### **Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

#### Synthesefeld 1 „Küstendynamik im Bereich der Laptev-See“

Aufgrund der geopolitischen Bedeutung der Küstenregionen hat sich das wissenschaftliche Interesse in jüngster Vergangenheit verstärkt auf die Untersuchung dieser Gebiete gerichtet. Auch das wissenschaftliche Interesse an den sensibel auf Klimaänderungen reagierenden Permafrost-Küsten hat in der letzten Zeit stark zugenommen. Im Rahmen von RAISE (Russian-American Initiative for Shelf-Land Environments in the Arctic) wird zur Zeit eine „Arctic Near-Shore Initiative“ entwickelt, die von der National Science Foundation (NSF) gefördert werden soll.

## Synthesefeld 2 „Rekonstruktion der Klima- und Umweltgeschichte anhand synkryogener Permafrostabfolgen“

Am Geological Institute RAS in Moskau werden im Küstengebiet des Yana-Indigirka-Tieflandes von einer kleinen Gruppe (P. A. Nikolsky, A. E. Basilyan) seit mehreren Jahren ebenfalls paläoökologische Studien betrieben, deren Ergebnisse die von uns erzielten sehr gut ergänzen. In einem russisch-amerikanischen Projekt, koordiniert durch V. V. Pitulko (Institute for the History of Material Culture RAS, St. Petersburg), wird seit einigen Jahren die holozäne Besiedlungs- und Umweltgeschichte im Gebiet der Neusibirischen Inseln untersucht.

## Synthesefeld 3 „Bilanzierung und Dynamik von Treibhausgasen im Permafrost“

Weiterführende, anwendbare Erkenntnisse im Bereich der Methanflüsse und Untersuchungen zu den mikrobiologischen Prozessen des Methankreislaufs im sibirischen Permafrost, insbesondere im Gebiet der Laptev-See und ihres Hinterlandes, sind von Seiten Dritter nicht bekannt.

## **Erfolgte und geplante Veröffentlichungen**

Siehe Liste der Veröffentlichungen (Anhang).

## **Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Siehe Tabelle 2.

## **Referenzen**

- Bölter, M., Möller, R., Müller-Lupp, W., Pfeiffer, E.-M., and Wagner, D. (in prep.) Carbon dioxide evolution from Siberian soils.
- Fiedler, S., Wagner, D., Kutzbach, L., and Pfeiffer, E.-M. (submitted) Element distribution within low-centre polygons of the Siberian tundra. Soil Science Society of America Journal.
- Grosse, G., Krbetschek, M., and Schirrmeister, L. (submitted) Luminescence dating (IR-OSL) of sediments from permafrost sequences of NE-Siberia. Quaternary Geochronology.
- Kienast, F. (2002) Die Rekonstruktion der spätquartären Vegetations- und Klimageschichte der Laptevsee-Region auf der Basis botanischer Großrestuntersuchungen. Dissertation. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung/Universität Potsdam, 2002, 116 pp.
- Kutzbach, L., Wagner, D., and Pfeiffer, E.-M. (in prep.) Effects of microrelief and vegetation cover on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia.
- Kuzmina, S. (2001) Quaternary insects of coastal lowlands in Yakutia. Dissertation. Institute of Paleontology, RAS, Moscow, 2001, 481 pp. (in Russian).
- Kuznetsova, T. and Kuzmina, S. (2001) Paleontological study (the western Olenyok Channel - Nagym, the eastern Olenyok Channel - Kurungnakh Island, Buor-Khaya). Reports on Polar Research, 388, pp. 92-93, 96-98, 123-127, 131.

- Kuznetsova, T.V., Sulerzhitsky, L.D., and Siegert, C. (2001) New data on the "mammoth" fauna of the Laptev shelf land (east Siberian Arctic). In: *The World of Elephants. Proceedings of the 1st International Congress*. Roma, pp. 289-292.
- Meyer, H., Dereviagin, A.Y., Siegert, C., Schirrmeister, L., and Hubberten, H.-W. (2002) Palaeoclimate reconstruction on Big Lyakhovsky Island, Northern Siberia - Hydrogen and Oxygen isotopes in ice wedges. *Permafrost and Periglacial Processes*, 13, pp. 91-105.
- Meyer, H., Dereviagin, A.Y., Siegert, C., Schirrmeister, L., and Hubberten, H.-W. (in press) Hydrogen and oxygen isotopes in ground ice - a valuable tool for paleoclimate studies on Big Lyakhovsky Island, Northern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*.
- Pfeiffer, E.-M., Kobabe, S., and Wagner, D. (2002) Methane fluxes in Siberia and their relevance for the permafrost related gas hydrate research. *Climate Drivers of the North*, Kiel, Germany, May 8-11, 2002.
- Schirrmeister, L., Siegert, C., Kunitsky, V., Grootes, P., and Erlenkeuser, H. (2002) Late Quaternary ice-rich permafrost sequences as a paleoenvironmental archive for the Laptev Sea region in Northern Siberia. *Journal of Earth Science (Geologische Rundschau)*, 91, pp. 154-167.
- Schirrmeister, L., Kunitsky, V., Grosse, G., Schwamborn, G., Andreev, A., Meyer, H., Kuznetsova, T., Bobrov, A., and Oezen, D. (submitted) Late Quaternary history of the accumulation plain north of the Chekanovsky Ridge (Northeast Yakutia). *Polar Geography*.
- Schwamborn, G.J. (2002) Late Quaternary sedimentation history of the Lena Delta. Dissertation. Universität Potsdam, 2002, 99 pp.
- Schwamborn, G., Rachold, V., and Grigoriev, M.N. (2002) Late Quaternary sedimentation history of the Lena Delta. *Quaternary International*, 89, pp. 119-134.
- Sher, A., Kuzmina, S., Lisitsyna, O., Parmuzin, I., and Demyankov, S. (2002) Paleoecological and permafrost studies of Ice Complex in the Laptev Sea area (Bykovsky Peninsula). In: Pfeiffer, E.-M. and Grigoriev, M.N. (eds.) *Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA 2000: The Expedition LENA 2001. Reports on Polar Research*, 426, pp. 171-186.
- Siegert, C., Schirrmeister, L., and Babiy, O. (2000 (published 2002)) The sedimentological, mineralogical and geochemical composition of Late Pleistocene deposits from the ice complex on the Bykovsky Peninsula, Northern Siberia. *Polarforschung*, 70, pp. 3-11.
- Wagner, D., Kobabe, S., Pfeiffer, E.-M., and Hubberten, H.-W. (submitted) Significance of microbial processes for methane fluxes from Siberian tundra environments. *Permafrost and Periglacial Processes*.

## Teilprojekt 3: Umweltreaktionen des Laptev-See-Systems

### Eingehende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse des Teilprojekts

#### Zielsetzung

Im Mittelpunkt des Teilprojektes 3 „Umweltreaktionen des Laptev-See-Systems“ steht die Erforschung der Ursachen und Auswirkungen von Umweltveränderungen auf dem Laptev-See-Schelf.

Die Bedeutung der Variabilität der atmosphärischen und ozeanographischen Bedingungen für den Stofftransport, den Wärmehaushalt und die biogeochemischen Prozesse auf dem Laptev-See-Schelf stand im Mittelpunkt der Untersuchungen und Modellierungen des heutigen Umwelt-Systems. Bisherige Untersuchungen deuteten darauf hin, dass der atmosphärische Antrieb im Wechselspiel mit der Meereisbedeckung der dominierende Faktor für den Stoff- und Wärmetransport sowie die biogeochemischen Abläufe in der Laptev-See ist (Dmitrenko et al., 2001a). Es wurde vermutet, dass den Umweltbedingungen, die während der sehr kurzen jahreszeitlichen Übergangsphasen vorherrschen, eine besondere Rolle für die Steuerung der oben genannten Prozesse zukommt.

Die Rekonstruktion der Sedimentationsdynamik auf dem Laptev-See-Schelf seit dem Ende der letzten Vereisungsphase vor ca. 20 ka (\*1000 J. v. H.) sowie die Veränderlichkeit und Auswirkungen des mittelsibirischen Flusswasserausstoßes auf das arktische Klimasystem waren ein weiterer zentraler Bestandteil der Synthesephase des Projekts "System Laptev-See 2000". Die neu gewonnenen Kenntnisse bestätigen in eindrucksvoller Weise vorherige Ergebnisse bzw. Vermutungen. Demnach unterlag der Laptev-See-Schelf mit dem Beginn des globalen Meeresspiegelanstiegs besonders starken dynamischen Veränderungen. Diese waren durch die allmähliche Umwandlung von einem terrestrischen zu einem marinen Ablagerungsraum gekennzeichnet (Bauch et al., 1999; Bauch et al., 2001) und bedingten zum einen die zeittransgressive Erosion der glazialen, vom Permafrost geprägten Küstenlandschaft durch das nach Süden vordringende Meer. Zum anderen veränderten sich während der Transgressionsphase zunehmend auch die hydrographischen und kryologischen Bedingungen in dem sich neu formenden Schelfmeer, d.h. die Abflussraten der mittelsibirischen Flüsse und die Eisbildungsraten auf dem Schelf - beide Prozesse sind ein integraler Bestandteil des modernen gesamtarktischen Systems und nehmen direkten Einfluss auf des Klimageschehen auch außerhalb der eigentlichen arktischen Region (Bauch et al., 2000). Darüberhinaus ging der Meeresspiegelanstieg einher mit einer massiven Veränderungen der nordsibirischen Vegetation, der maßgeblich durch die globale Erwärmung seit dem letzten Glazial bedingt wurde.

### Zirkulation, Stofftransport und Energieaustausch in der Laptev-See: Quantifizieren, Modellieren und Kopplungsprozesse verstehen

Ein wesentlicher Beitrag zum besseren Verständnis der ozeanographischen und hydrochemischen Prozesse konnte durch die enge Zusammenarbeit mit russischen WissenschaftlerInnen im Rahmen des „Fellowship“-Programmes des Otto-Schmidt-Labors geleistet werden. So untermauerte die GIS-gestützte Auswertung der ozeanographischen Datensätze die Hypothese, dass vor allem das Zusammenspiel von Flusswassereintrag und atmosphärischer Zirkulation den Salzgehalt und die Temperatur im Bodenwasser der östlichen Laptev-See steuert (Berezovskaya et al., 2002). Dabei konnten auf dem flachen Schelf der Laptev-See zwei hydrographische Regime unterschieden werden, die mit den von Proshutinsky und Johnson (1997) beschriebenen generellen atmosphärischen Zirkulationsregimen der Arktis korrelieren. Dies bedeutet, dass die Variabilität des atmosphärischen Antriebs für die Verbreitung des Flusswassers und die daraus resultierende thermohaline-hydrochemische Struktur der Laptev-See wichtiger sind als die jährlichen Schwankungen im Süßwassereintrag selbst (Dmitrenko et al., 2002b).

Die Auswertungen historischer und aktueller Datensätze sowie Modellrechnungen zeigten darüber hinaus, dass sich die Hydrographie sowie die Wärme- und Stofftransportvorgänge der westlichen Laptev-See wesentlich von denen in der östlichen Laptev-See unterscheiden (Dmitrenko et al., 2001b). Während im Bereich des zentralen und äußeren Schelfs der westlichen Laptev-See der Wasserkörper zu Beginn des Winters keine oder eine nur schwach ausgeprägte Dichtesprungschicht aufweist, zeigt die südöstliche Laptev-See - abgesehen von den flachen Gebieten (< 10m) des inneren Schelfs - eine ganzjährig auftretende Dichtesprungschicht (Pyknokline). Dadurch kommt es beim Zufrieren der westlichen Laptev-See sowie bei der Öffnung der Polynja in Folge der starken Neueisbildung und der damit verbundenen Bildung von salzreichen und kalten Wassermassen zu einer konvektiven Durchmischung der gesamten Wassersäule. In den ozeanographischen Datensätzen wird dies durch die hier auftretenden Temperaturminima (< -1,7 °C) im Bodenwasser belegt. Das in der westlichen Laptev-See entstandene kalte Bodenwasser kann selbst im darauf folgenden Sommer bis in die zentrale Laptev-See nachgewiesen werden (Dmitrenko et al., 2001a).

Im Gegensatz dazu verhindert die starke Dichteschichtung in der östlichen Laptev-See weitgehend die konvektive Durchmischung der Wassersäule. Jedoch zeigte die Auswertung der Daten von ozeanographischen Messstationen, die über den Zeitraum eines Jahres in der östlichen Laptev-See verankert waren ("System Laptev-See 2000"), ein Phänomen, das doch einen verstärkten vertikalen Stoff- und Wärmetransport durch die Dichtesprungschicht ermöglicht (Dmitrenko et al., 2002a). Mit dem Beginn der Eisbedeckung im Oktober wandelt sich die Gezeitenströmung von einem barotropen Regime in ein baroklines Strömungsregime. Dies bedeutet, dass das vertikale Strömungsprofil während der vollständigen Eisbedeckung keine einheitliche Geschwindigkeit (barotropes Regime) aufweist, sondern durch deutliche



Maxima im Bereich der Pyknokline charakterisiert ist (baroklines Regime). Sobald sich jedoch die Polynja öffnet, ist das Strömungsregime wieder barotrop. Dieses in der Laptev-See bisher nicht beschriebene Phänomen hat einen wesentlichen Einfluss auf den vertikalen Salz- und Wärmetransport im Bereich der Dichtesprungschicht. Durch die erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten an der Pyknokline wird eine erhöhte turbulente Durchmischung verursacht, die wiederum den vertikalen Transport deutlich erhöht. Modellrechnungen ergaben, dass der im Winter beobachtete Salzgehaltsanstieg oberhalb der Dichtesprungschicht nicht nur durch die Neueisbildung, sondern auch durch einen vertikalen Transport von - im Vergleich zum darüber liegenden Wasserkörper - salzhaltigem, wärmerem Bodenwasser verursacht wird (Dmitrenko et al., 2002a). Dieses Ergebnis hat unter anderem Konsequenzen für die bisherigen Berechnungen der Eisbildungsraten auf der Basis von Salzgehaltsschwankungen. Ein weiterer möglicher Effekt besteht in einer um mehrere Tage verzögerten Eisbildung im Herbst, die durch Wärmezufuhr aus dem Bodenwasser verursacht wird (Kirillov et al., 2002).

#### Erfassung der saisonalen Variabilität biogeochemischer Prozesse anhand der Verteilung von Spurenelementen, Nährstoffen und Schwebstoffen in der Laptev-See

Die im Verbundvorhaben „System Laptev-See 2000“ erzielten aktuellen Forschungsergebnisse belegen die sehr starke Saisonalität der atmosphärischen, ozeanographischen und hydrochemischen Antriebsbedingungen im Bereich des Laptev-See-Schelfs. Für die hydrochemischen und sedimentologischen Prozesse sind dabei zwei Ereignisse von bestimmender Bedeutung: zum einen der Aufbruch des Flusseises der Lena und die anschließende einmonatige Periode mit extrem hohen Flusseinträgen von Süßwasser und den darin enthaltenen gelösten und partikulären Substanzen (Pivovarov et al., 1999); zum anderen die Eisbedeckung der Laptev-See, wobei der Beginn der Eisbedeckung Ende September bis Anfang Oktober eine besondere Rolle für den Export von Sedimenten vom Laptev-See-Schelf spielt (Abb. 8) (Hölemann et al., 2002).

Die im Rahmen der Synthesephase im Themenfeld „Erfassung der saisonalen Variabilität biogeochemischer Prozesse anhand der Verteilung von Spurenelementen, Nährstoffen und Schwebstoffen in der Laptev-See“ erzielten Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt:

#### Flussaufbruch

Die Auswertung der Verteilung von Sedimenten, Silikat und Spurenelementen ergab, dass der Eintrag dieser Stoffe in den Bereich des Laptev-See-Schelfs durch den Flusseintrag dominiert wird. Der Eintrag durch die Küstenerosion ist nur für den inneren Schelf von Bedeutung. Besonders hohe Einträge finden im Juni statt, wenn die Lena 35% ihres Süßwassereintrages und 50% ihres Sedimenteintrages in die Laptev-See schüttet. Während des Flussaufbruches im Mai und Juni werden große Teile der Laptev-See noch vom Eis bedeckt. Der Flusseintrag wird während dieser Phase in einer Flusswasserlinse unterhalb des Festeises transportiert.

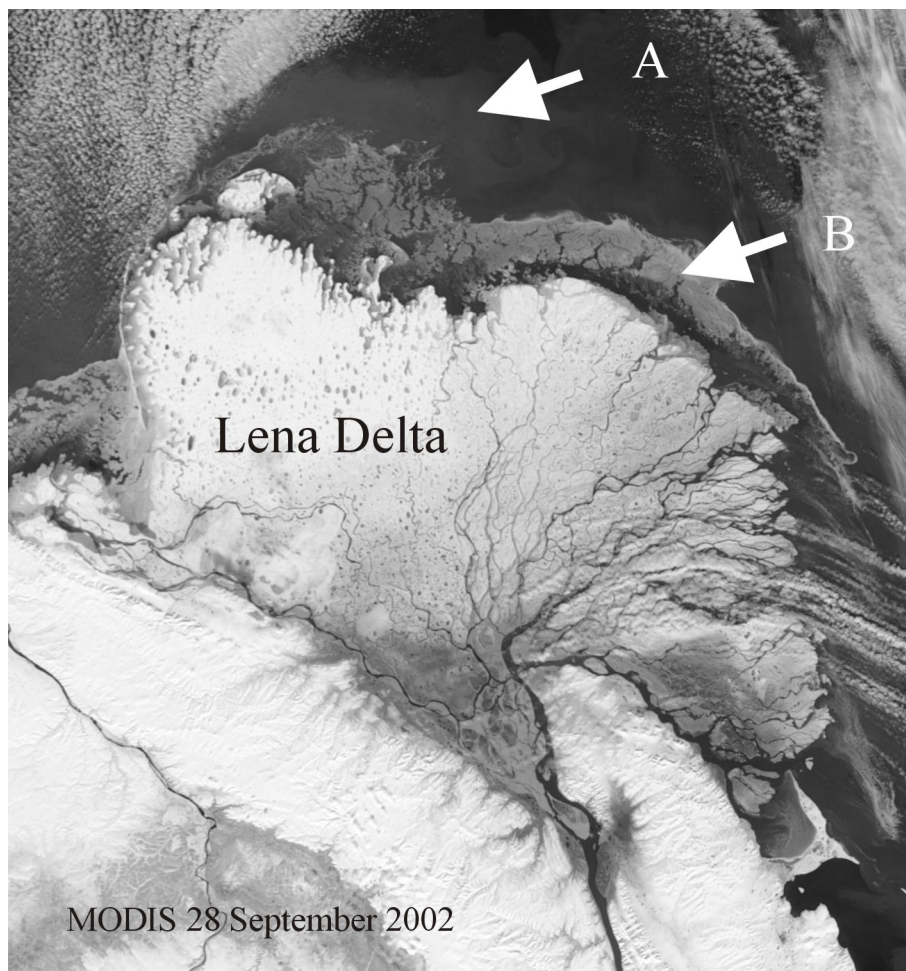


Abb. 8. In den flachen Meeresgebieten können Strömungen und Wellen Sedimente resuspendieren und über die gesamte Wassersäule verteilen (A). Während des Zufrierens der Laptev-See (freeze-up) beginnt in den küstennahen, schwebstoffreichen Gebieten auch die Bildung des Neueises (B). So werden besonders nach Stürmen erhebliche Mengen von Sedimenten während des freeze-up in das Meereis eingeschlossen und entsprechend der Windrichtung über weite Strecken transportiert (Lindemann et al., 1999).

#### Der Einfluss der Eisbedeckung auf die biogeochemischen Prozesse

Die Auswertung der ozeanographischen Daten aus der östlichen Laptev-See zeigt, dass in dieser Region die starke, durch den hohen Flusseintrag verursachte Dichteschichtung des Wasserkörpers das ganze Jahr über stabil bleibt (Dmitrenko et al., 2001c). Somit ist der vertikale Transport von Nährstoffen und Sauerstoff der Laptev-See innerhalb des Wasserkörpers eingeschränkt. In der Folge kommt es auch im Winter zu einer Sauerstoffzehrung und Nährstoffanreicherung im Bodenwasser der südöstlichen Laptev-See (Abb. 9) – ein Phänomen, das in den Schelfmeeren gemäßigter Breiten meist nur im Sommer auftritt.

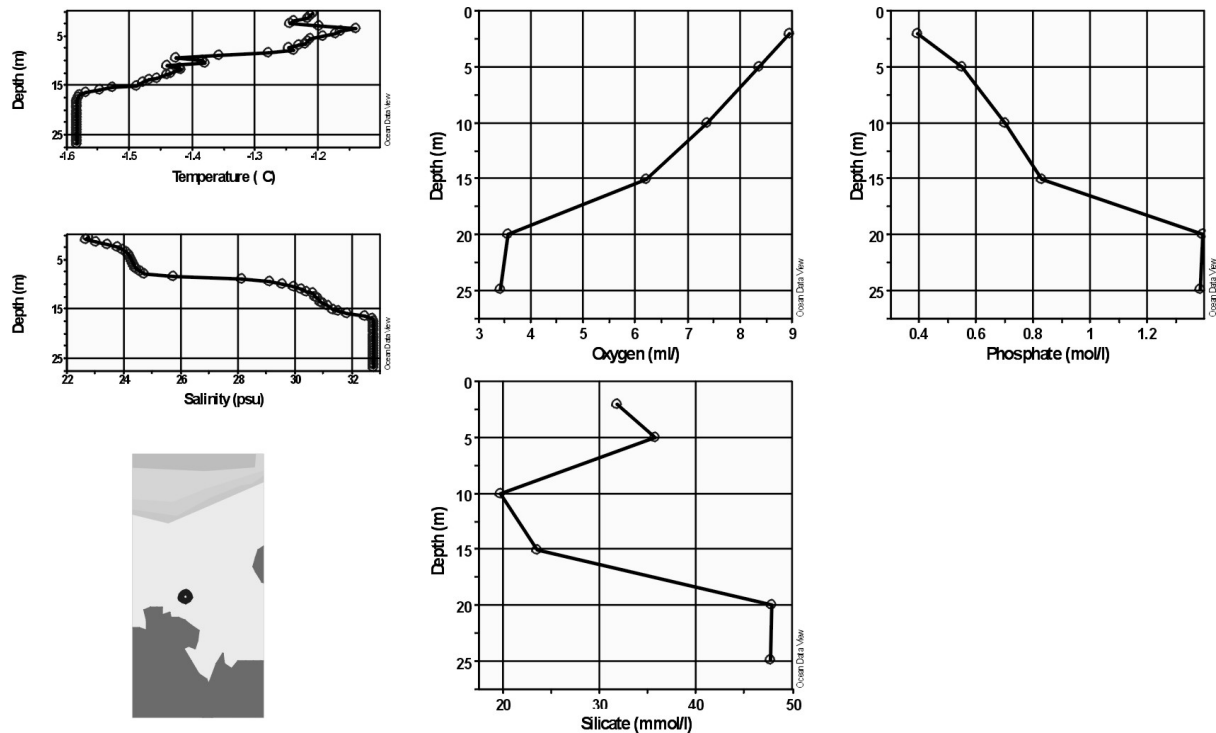


Abb. 9. Ozeanographische und hydrochemische Parameter am 5. Mai 1999 im Bereich der Winterpolynja nördlich des Lena-Deltas (schwarzer Kreis auf der Karte). Der vertikale Transport von Nährstoffen und Sauerstoff der Laptev-See ist in Folge einer deutlich ausgeprägten Schichtung des Wasserkörpers stark eingeschränkt. In der Folge kommt es auch im Winter zu einer Sauerstoffzehrung und Nährstoffanreicherung im Bodenwasser der südöstlichen Laptev-See (Pivovarov, unveröffentlichte Daten).

Auch die Untersuchungen von gelöstem Mangan in der Wassersäule zeigten deutlich erhöhte Konzentrationen im Bodenwasser in vielen Gebieten der SE-Laptev-See (Abb. 10a). Die erhöhten Konzentrationen im Bodenwasser werden vor allem auf einen hohen benthischen Eintrag zurückgeführt. Dieser Eintragsmechanismus ist dort besonders aktiv, wo eine vollständige Zehrung des Sauerstoffes in den Sedimenten bis an die Sedimentoberfläche reicht. Hier kann gelöstes Mangan in die Wassersäule gelangen und selbst in einem sauerstoffhaltigen Wasserkörper über längere Strecken transportiert werden, bis es wieder oxidiert. Jedoch lässt das sporadische Verteilungsmuster von erhöhten Mangankonzentrationen im Bodenwasser der SE-Laptev-See keine weiterführenden Aussagen über die biogeochemischen Prozesse und ihre saisonale Variabilität in der Laptev-See zu.

Durch die generell geringere Strömungsdynamik unter der Eisbedeckung kommt es auch zu einem Absinken von Partikeln in die bodennahe Grenzschicht (Wegner et al., in press). Gesteuert durch den atmosphärischen Antrieb kommt es – wie bereits oben beschrieben – zur periodischen Öffnung einer Polynja im mittleren Schelfbereich. Die dabei ansteigende Strömungsdynamik führt jedoch nicht zu einer turbulenten Durchmischung der gesamten Wassersäule, sondern vor allem zu einem südwärts auf den Schelf gerichteten Transport im Bereich der bodennahen Grenzschicht (Wegner et al., in press) (Abb. 10b). Durch dieses

Strömungsregime wird der Sedimenttransport vom flachen Schelf in die Becken des Arktischen Ozeans erheblich reduziert (siehe auch TP 4).

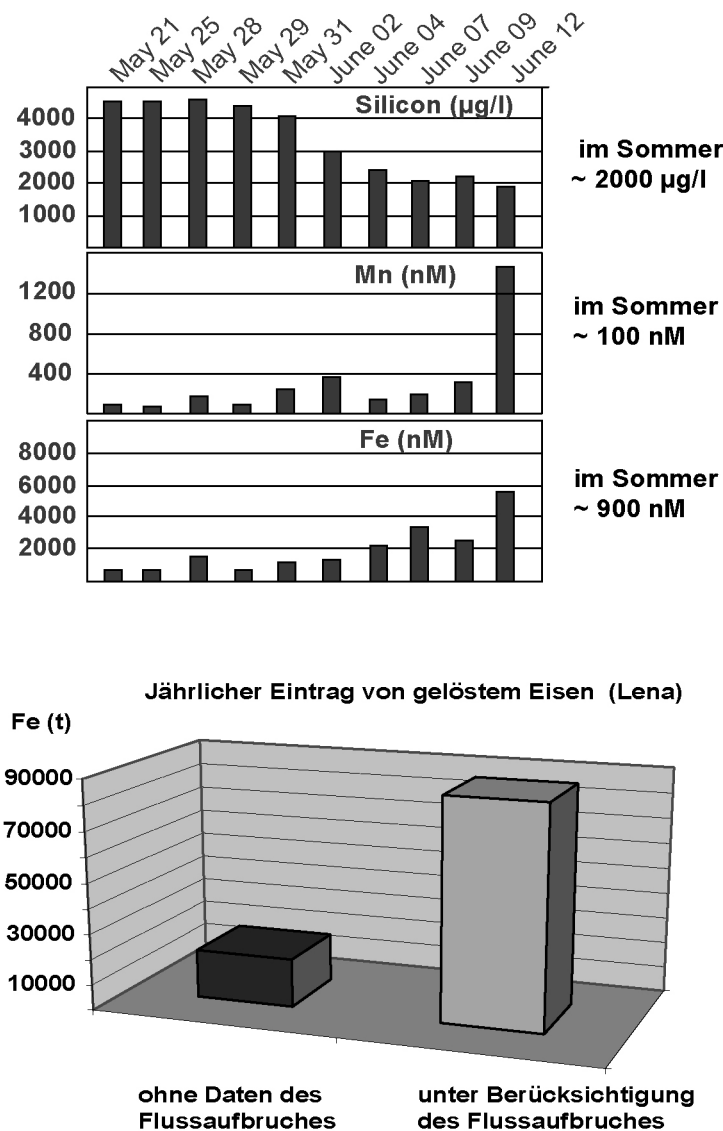


Abb. 10a. Die Konzentrationen von gelöstem Mangan und Eisen während des Flussaufbruches der Lena im Juni 1996 (oberes Diagramm) zeigen gegenüber den typischen Sommerwerten (Juli bis September, Literaturdaten) deutlich erhöhte Werte. Der Silikatgehalt zeigt hingegen vor dem Beginn des Flussaufbruches in der letzten Maiwoche hohe Werte. Die Silikatkonzentrationen zeigen bereits in der ersten Phase des Flussaufbruches die typischen niedrigeren Sommerkonzentrationen. Bisherige Bilanzierungen des Flusseintrages von gelösten Stoffen haben den hohen Eintrag während des Flussaufbruches nicht berücksichtigt. Dies führt am Beispiel von Eisen zu einer drastischen Unterschätzung des jährlichen Flusseintrages (unteres Diagramm, Hölemann et al., in review)

Auf der Basis der bisherigen Ergebnisse kann angenommen werden, dass der Einschluss von Sedimenten in das sich im September/Okttober neu bildende Eis in küstennahen Bereichen der Laptev-See der wichtigste Mechanismus für den Export von Sedimenten ist. Die Menge der in das Eis eingeschlossenen Sedimente und die Driftrichtung der Eisfelder

sind jedoch in starkem Maße von den jeweilig vorherrschenden atmosphärischen Antriebsbedingungen abhängig. Dabei kann es in dem Neueis zu biogeochemischen Prozessen kommen, die zu einer starken Anreicherung von gelösten Metallen im Eis führen (Hölemann et al., 1999). Dieser Transportmechanismus ist somit nicht nur für die Sedimente von Bedeutung, sondern er kann auch die Transportwege von partikelreaktiven Schadstoffen wie den Schwermetallen beeinflussen.

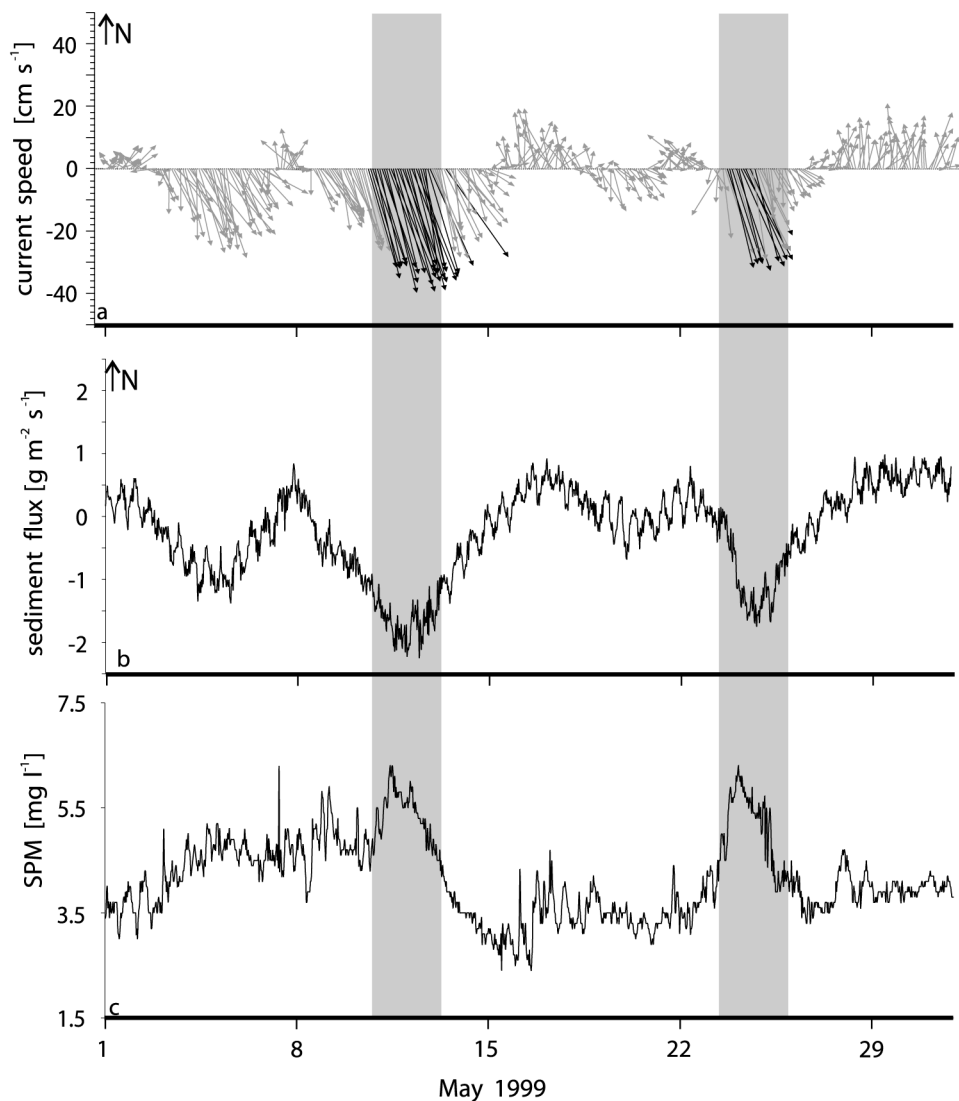


Abb. 10b. Verursacht durch stärkere Winde aus Süden, öffnete sich im Mai 1999 eine Polynja an der Position des Meeresbodenobservatoriums „YANA“ in der östlichen Laptev-See (grau hinterlegte Periode). Im Bereich des Bodenwassers kommt es zu einer südwärts gerichteten Gegenströmung (oberes Diagramm), die stark genug ist, die Sedimente in diesem Bereich zu resuspendieren bzw. zu erodieren (schwarze Pfeile). Die Resuspension spiegelt sich auch in erhöhten Schwebstoffkonzentrationen im Bodenwasser wider (unteres Diagramm). Die Daten zeigen, dass im Winter bei einer Öffnung der Polynja durch südliche Winde ein Transport von Sedimenten im bodennahen Wasserkörper nach Süden stattfindet (mittleres Diagramm).

### Charakterisierung und Interpretation der zeitlichen Veränderlichkeit von terrestrischen bzw. marinen Sedimenten sowie Charakterisierung der paläohydrologischen Veränderungen im System Fluss-Schelf während der Transgressions- bzw. Regressionsphasen

#### Geochemische und geophysikalische Untersuchungen

Ein wichtiger Aspekt der Arbeiten während der Synthesephase umfasste eine detaillierte Charakterisierung und Interpretation der zeitlichen Veränderlichkeit von terrestrischen bzw. marinen Sedimenten sowie eine Darstellung der paläohydrologischen Veränderungen im System Fluss-Schelf. Die dabei angewandten Methoden bezogen sich auf mikropaläontologische und isotopisch-geochemische Untersuchungen. Das notwendige Sedimentmaterial entstammte der im Sommer 2000 durchgeführten Bohrexpedition TRANSDRIFT VIII und wurde durch ausgewähltes Kernmaterial vorheriger Expeditionen ergänzt.

Die Arbeiten am Bohrkernmaterial konzentrierten sich vor allem auf die Bohrung KI005 bzw. KI001, da diese in unmittelbarer Nähe zu dem schon vorher gut datierten Sedimentkern PS51/135-4 lagen. Die Datierungen auf der Basis von AMS  $^{14}\text{C}$  im Zusammenhang mit den geophysikalischen Erkenntnissen belegen eindeutig, dass die unteren Schichten in KI001/005 dem Spätglazial zuzuordnen sind (Abb. 11). Daraus lässt sich schließen, dass die transparente Lage unterhalb der geschichteten Sedimentdecke - diese weist eine mittlere Mächtigkeit von ca. 10 m auf - mit der Fazies korreliert, die durch gefrorene Sedimente bzw. durch das Auftreten von massigen Eislagen gekennzeichnet ist.

Zur Bestimmung der Sauerstoffisotopie dieser Eislagen wurde das in St. Petersburg gelagerte Bohrkernmaterial von KI005 im September 2001 detailliert beprobt und der weiteren Analyse zugeführt. Die isotopische  $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur des vorgefundenen Eises weist Werte von 9-10‰ auf. Bezieht man diese Werte auf die damaligen Durchschnittswerte im Spätglazial, so lassen sich Salinitäten von ca. 22.5 ableiten (Abb. 12). Vorangegangene Studien ließen bisher auf ein terrestrisches Milieu während dieser Zeit schließen. Somit muss davon ausgegangen werden, dass die erbohrten Eislagen durch die nachfolgende marine Transgression überprägt und postsedimentär aufgrund des kalten Bodenwassers (heute ca.  $-1.6^{\circ}\text{C}$ ) im Zusammenhang mit der geringen Salinität entstanden sind. Diese Vermutung wird durch die moderne  $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur aus dem Porenwasser unterstrichen. Die Werte von ca. -2‰ deuten auf eine Salinität von ca. 31, was ziemlich genau den durchschnittlich an dieser Lokation gemessenen Salinitätswerten im Bodenwasser entspricht (Abb. 12).

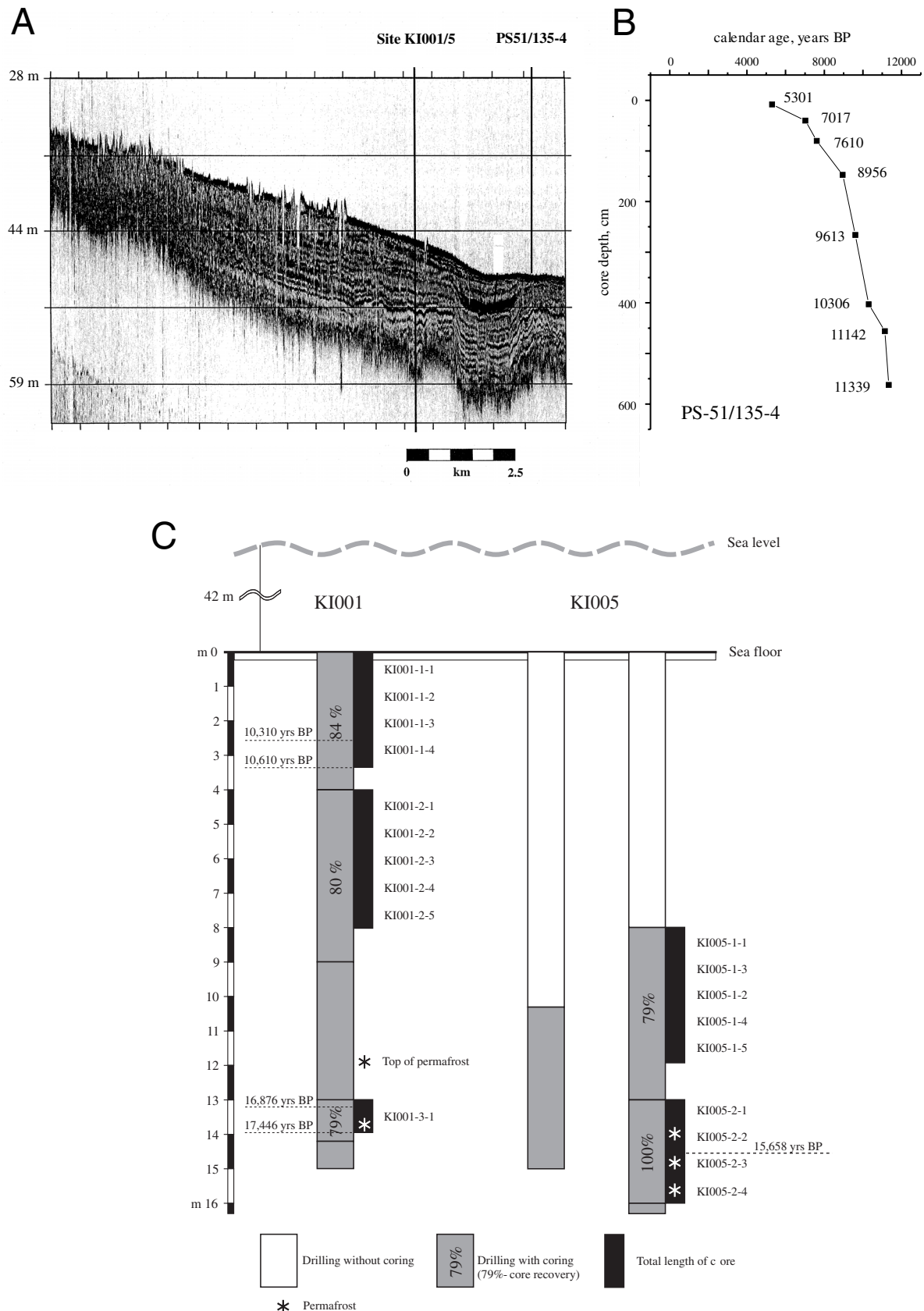


Abb. 11. Altersdatierungen und Sedimentkernabschnitte mit Auftreten von massivem Eis (Sternchen) in den Bohrkernen KI001/KI005. Dazu im direkten Vergleich das akustische Profil (PARASOUND) der Bohrlokation sowie die Position und Altersdatierungen am Sedimentkern PS51/135-4.

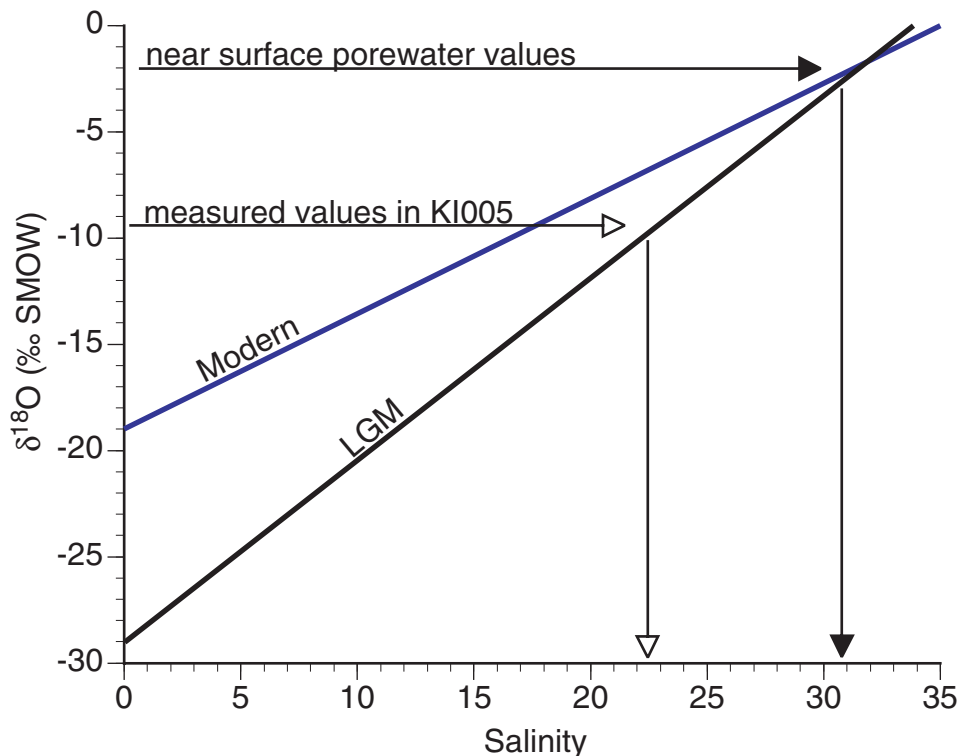


Abb. 12. Sauerstoffisotopenverhältnisse der Eisproben von KI005 (weiße Pfeilspitze) im direkten Vergleich mit „modernen“ Werten (schwarze Pfeilspitze). Die  $\delta^{18}\text{O}$ /Salinitätsbeziehung für das letzte glaziale Maximum (LGM) wurde von Eis aus Küstenaufschlüssen abgeleitet (Meyer et al., 2002); das moderne Verhältnis ist von Mueller-Lupp et al. (in press).

### Paläontologische Untersuchungen

Basierend auf den Sedimentkernen, die während der TRANSDRIFT-Expeditionen gewonnen wurden, konnte im Zusammenhang mit Radiokarbondatierungen der postglaziale Meeresspiegelanstieg in der Laptev-See-Region für den Zeitraum seit 11.000 Jahren detailliert rekonstruiert werden (Bauch et al., 2001). Sedimentologische Ansätze, wie z.B. Akkumulationsraten und geochemische Analysen ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ ), zeigten dabei den massiven Einfluss der Transgression auf das holozäne Sedimentationsmilieu in der Laptev-See und gaben Rückschlüsse über Veränderungen im Eintrag von terrestrischer organischer Substanz während der letzten 11.000 Jahre (Bauch et al., 1999; Müller-Lupp et al., 2000; Bauch et al., 2001a). Letzteres allein ist jedoch sehr qualitativ und oft lokal beeinflusst, so dass nur bedingt Einblick in das überregionale Ablagerungsmilieu bzw. über die generelle klimatische Situation während des eigentlichen Sedimentationsprozesses gewährt wird. Um zu solchen Erkenntnissen zu gelangen, bedurfte es der Durchführung von detaillierten paläontologischen Arbeiten.

Ein Schwerpunkt der paläontologischen Untersuchungen bezog sich auf eine detaillierte Identifizierung der kalzitischen Mikro- und Malacofauna, um Aussagen über die Wassermassenveränderungen auf dem Laptev-See-Schelf während der frühholozänen Phase machen zu können. Zu diesem Zweck wurden Faunenuntersuchungen an Ostakoden,



benthischen Foraminiferen und Muscheln am Sedimenkern PS51/135-4 durchgeführt. Die Zusammensetzung dieser drei Gemeinschaften zeigt deutliche Wechsel von einem brackisch-ästuarem (geprägt durch *P. arctica*) Milieu hin zu vornehmlich neritisch-marinen Umweltbedingungen (Abb. 13).

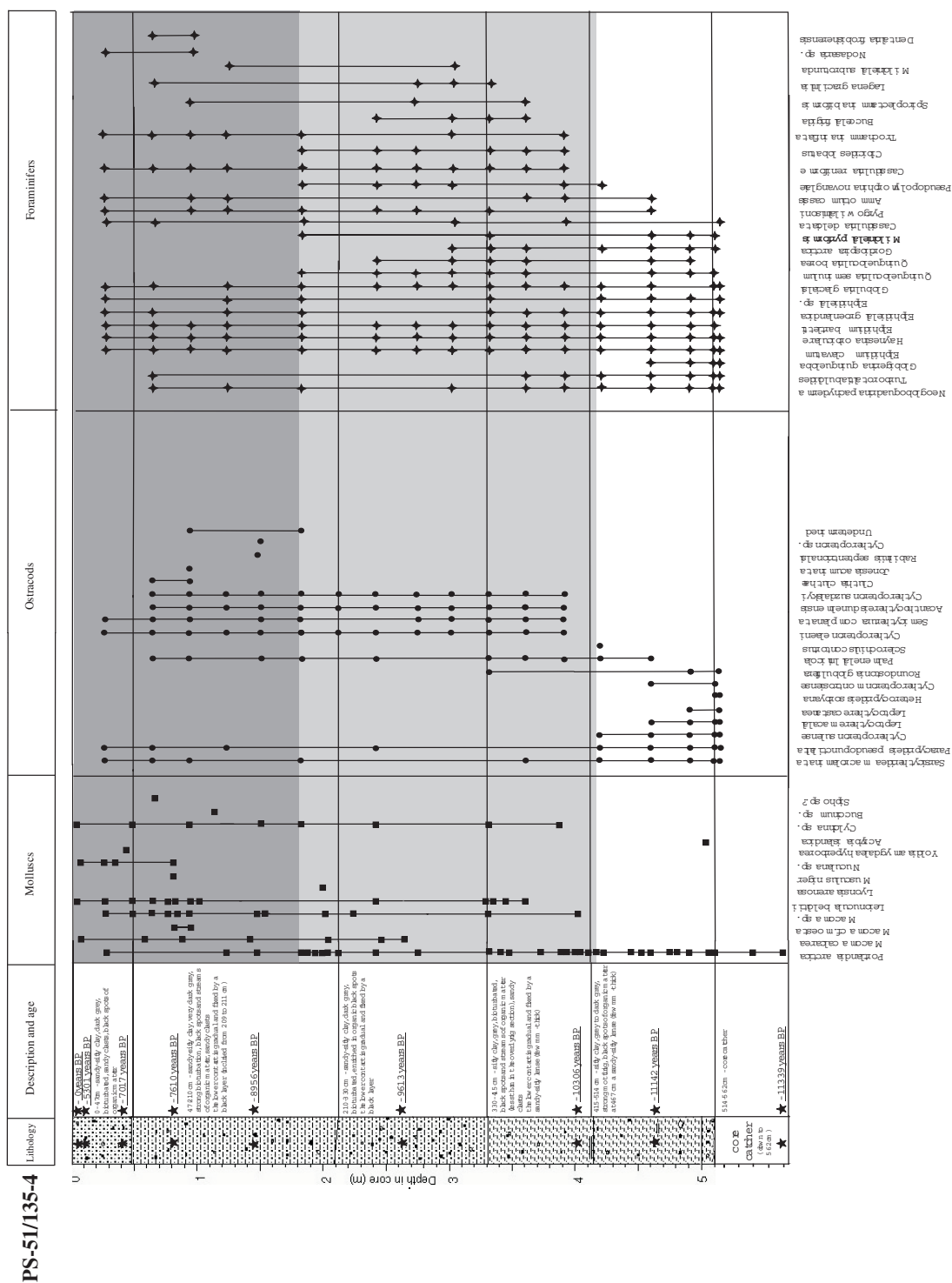


Abb. 13. Artenzusammensetzung von kalzitischen Fossilgemeinschaften im Sedimentkern PS51/135-4. Mit zunehmender Salinität und der Wassertiefe (von unten nach oben) lassen sich 3 Gemeinschaften erkennen (basierend auf Taldenkova et al., 2002).

Vorangegangene Studien haben gezeigt, dass klimatisch relevante Pollen- und Sporengemeinschaften in den organischreichen marinen Sedimenten der Laptev-See die allgemeine holozäne Klimaentwicklung Nordsibiriens sehr gut nachzeichnen (Naidina and Bauch, 2001). Die gilt natürlich um so mehr für die palynologischen In-situ-Fossilgemeinschaften aus den terrestrischen “Eiskomplexen” des letzten Hochglazials, die durch den postglazialen Meeresspiegelanstieg zerstört bzw. transgrediert wurden. Neben dem Auftreten von typischen Pollengemeinschaften des Spätglazials (Tekleva et al., 2002) zeigen die Ergebnisse von der Artenzusammensetzung der Insektengemeinschaft aus der Bohrung KI005 eindrücklich, dass der vorhandene submarine Permafrost auf dem Laptev-See-Schelf ein ähnlich gutes Potenzial als Klimaarchiv aufweist wie die heutigen Eiskomplexaufschlüsse an den Küsten (Abb. 14).

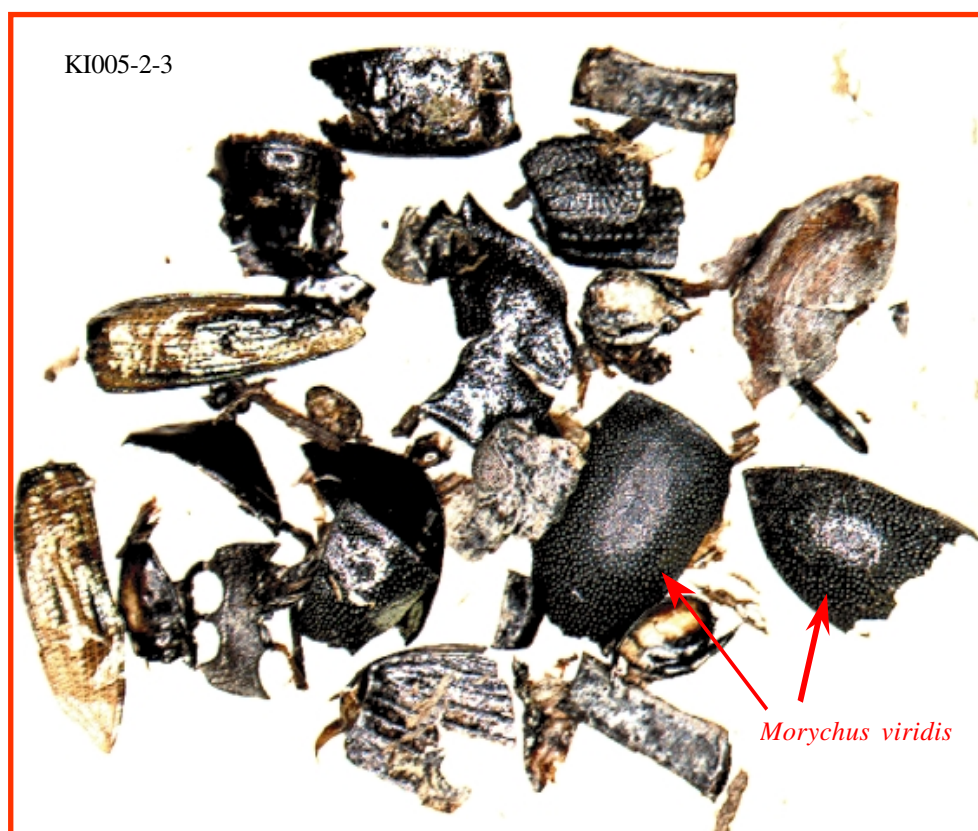


Abb. 14. Fossile Insektengemeinschaft aus dem gefrorenen Abschnitt von KI005. Der Käfer *Morychus viridis* gilt als typischer Vertreter einer spätglazialen Artengemeinschaft (Identifizierung durch S. Kuzmina, OSL).

Untersuchungen, die sowohl an Diatomeen als auch aquatischen Palynomorphen durchgeführt worden sind, konnten das Anwendungspotenzial dieser Gruppen für die zeitlichen Veränderungen eines süßwasser-marin beeinflussten Milieus auf dem Laptev-See-Schelf aufzeigen (Cremer, 1999; Kunz-Pirrung, 1999; Bauch and Polyakova, 2000; Bauch et al., 2000). Geophysikalische Messungen (PARASOUND) haben in weiten Teilen der Laptev-See Sedimentstrukturen erkennen lassen, die den Thermokarsterscheinungen der rezenten

Permafrostlandschaft im Küstenbereich sehr ähneln (Abb. 15). Die Erkenntnisse der Sedimentbohrungen lassen den Schluss zu, dass es sich hierbei um eine reliktsche, vermutlich eistragende, terrestrische Sedimentfazies handelt, die in Folge der postglazialen Transgression mit marinen holozänen Sedimenten gefüllt wurde. Diese Vermutung wird durch Rekonstruktionen der Paläosalinitäten anhand von Diatomeen bestätigt (Abb. 9).

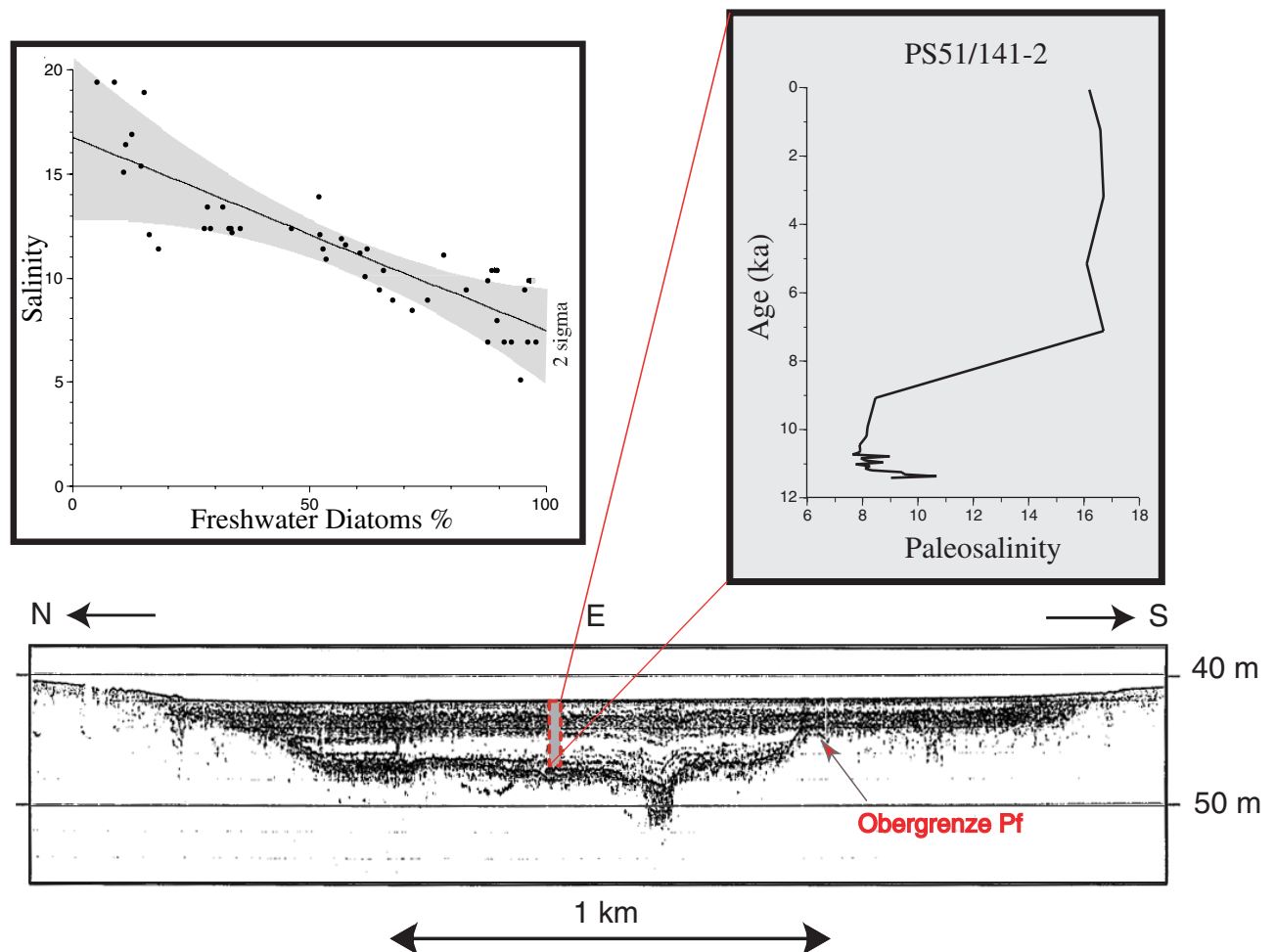


Abb. 15. Fossile Permafroststruktur (Talik?) nördlich des Lena-Deltas (42 m Wassertiefe). Die Rekonstruktion der Paläosalinitäten im Sedimentkern PS51/141-2 basiert auf der Korrelation von Süßwasserdiatomeen in Oberflächensedimenten mit den Salinitäten im Oberflächenwasser (Bauch and Polyakova, in press).

Weitere mikropaläontologische Arbeiten basieren auf der Analyse von aquatischen, organisch-wandigen Algen, bzw. marinen Zysten (Dinoflagellaten) sowie Süßwasseralgen (Grünalgen). Die Ergebnisse belegen zum einen, dass die Frühphase im Sedimentkern PS51/135-4 durch die damalige Nähe zur Mündung der Paläo-Jana intensiv durch Flusswasserzufuhr geprägt war (Abb. 16). Des Weiteren lässt sich durch den direkten Vergleich mit dem Sedimentkern PM9462 eine Aussage zum zeitlichen Ablauf der Transgression innerhalb der Jana-Rinne machen. Demnach stieg der Meeresspiegel innerhalb von ca. 2.000 Jahren um etwa 9,5 mm/Jahr.

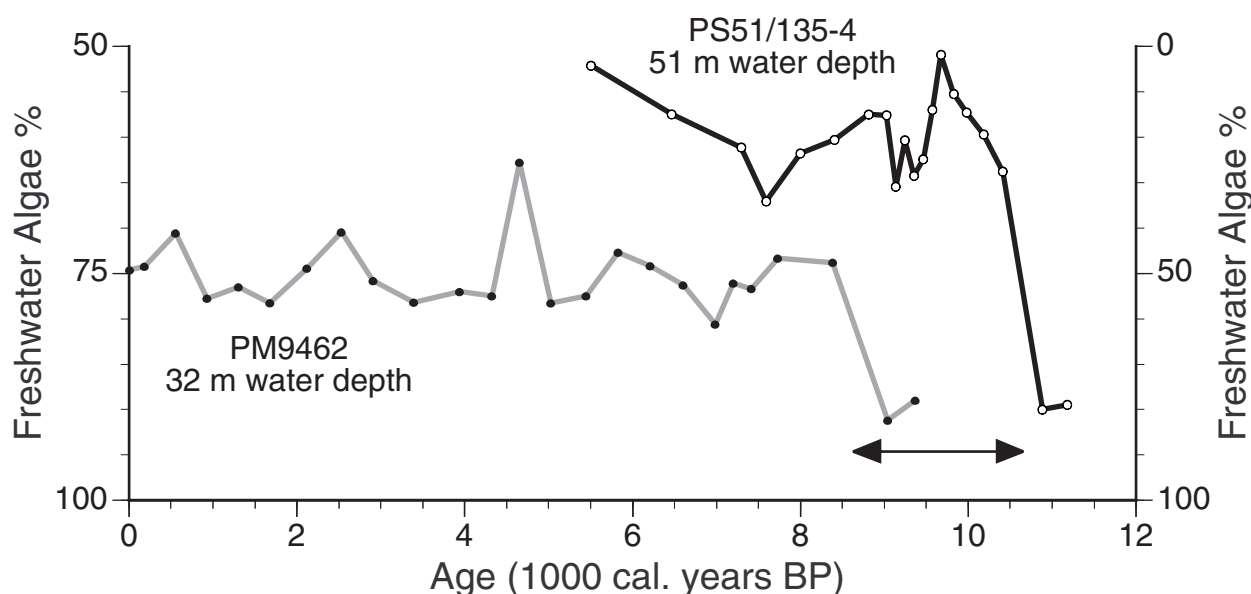


Abb. 16. Vergleich von Grünalgendaten zweier Sedimentkerne aus der östlichen Laptev-See (Jana-Rinne).

### **Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Die modernen hydrologisch-ozeanographischen Umweltaufzeichnungen über das Bearbeitungsgebiet erlauben nur Einblick in die vergangenen ca. 50 Jahre und erschweren somit eine wissenschaftlich fundierte Bewertung bezüglich der Langfristigkeit von Umweltveränderungen in der Arktis. Daher sind für das Verständnis von längerfristigen Klimaveränderungen die Erfassung von heutigen, kurzskaligen Veränderungen der arktischen Umwelt und ihr direkter Abgleich mit rezenten bzw. subrezentem Sedimentparametern unabdingbar (Stichwort: Aktualismus). Die dargestellten Ergebnisse (für die kurz- und mittelskaligen Zeitskalen) stehen somit in direktem Bezug zu globalen Klimaprognosen durch Modelle.

Durch die Nutzung der Nordostpassage ließe sich der Seeweg von Nordeuropa nach Japan und Korea um 7.000 km verkürzen. Hierfür sind jedoch fundierte Kenntnisse der Umweltbedingungen des Untersuchungsgebietes vonnöten, zu denen die hier dargestellten Ergebnisse einen wichtigen Beitrag leisten. Sie bilden eine Basis, auf der die Auswirkungen möglicher Klimaänderungen im Bereich der sibirischen Arktis bewertet sowie die Konsequenzen einer intensivierten Nutzung der Nordostpassage als Seeweg für das empfindliche arktische Umweltsystem politisch und wissenschaftlich eingeschätzt werden können.

Für die Beurteilung von Rohstoffvorkommen in den arktischen Schelfgebieten und deren mögliche Nutzbarkeit in der Zukunft sind akustische Untersuchungen des Sedimentuntergrundes sowie die Interpretation von submarinem Permafrost von sehr großer

Bedeutung. Auch hierzu haben die oben aufgeführten Ergebnisse einen wichtigen Beitrag geleistet. Die im Rahmen des Verbundvorhabens durchgeführten Arbeiten und daraus hervorgehenden Publikationen liefern daher auch zur Ressourcenabschätzung wichtige Grundlagen. Die Ergebnisse sind in die zentrale Datenbank PANGAEA aufgenommen sowie der breiten wissenschaftlichen Öffentlichkeit in Form von Publikationen zur Verfügung gestellt worden.

### **Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Es sind keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt.

### **Erfolgte und geplante Veröffentlichungen**

Siehe Liste der Veröffentlichungen (Anhang).

### **Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Siehe Tabelle 2.

### **Referenzen**

- Bauch, H.A., Kassens, H., Erlenkeuser, H., Grootes, P.M., and Thiede, J. (1999) Depositional environment of the Laptev Sea (Arctic Siberia) during the Holocene. *Boreas*, 28 (1), pp. 194-204.
- Bauch, H.A. and Polyakova, Y.I. (2000) Late Holocene variations in Arctic shelf hydrology and sea-ice regime: evidence from north of the Lena Delta. *International Journal of Earth Sciences*, 89 (3), pp. 569-577.
- Bauch, H.A. and Polyakova, Y.I. (in press). Diatom-inferred salinity records from the Arctic Siberian margin: Implications for fluvial runoff patterns during the Holocene. *Paleoceanography*.
- Bauch, H.A., Cremer, H., and Kunz-Pirrung, M. (2000) Siberian shelf sediments contain clues to paleoclimate forcing. *EOS Transactions*, 81, pp. 233, 238.
- Bauch, H.A., Mueller-Lupp, T., Spielhagen, R.F., Taldenkova, E., Kassens, H., Grootes, P.M., Thiede, J., Heinemeier, J., and Petryashov, V.V. (2001) Chronology of the Holocene transgression at the northern Siberian margin. *Global and Planetary Change*, 31 (1-4), pp. 123-137.
- Bauch, H.A., Kassens, H., Naidina, O.D., Kunz-Pirrung, M., and Thiede, J. (2001a) Composition and flux of Holocene sediments on the eastern Laptev Sea shelf, Arctic Siberia. *Quaternary Research*, 55 (3), pp. 344-351.
- Bauch H.A., Müller-Lupp, T., Polyakova, Ye.I., Röhl, U., and Niessen, F. (2002) High-Arctic Holocene records of land-ocean interactions. *Terra Nostra*, 2002/3, pp. 27-28.

- Berezovskaya, S.L., Dmitrenko, I.A., Gribanov, V.A., Kirillov, S.A., and Kassens, H. (2002) Distribution of river waters over the Laptev Sea shelf under different atmospheric circulation conditions. *Doklady Earth Sciences*, 386 (7), pp. 804-808.
- Cremer, H. (1999) Distribution patterns of diatom surface sediment assemblages in the Laptev Sea (Arctic Ocean). *Marine Micropaleontology*, 38, pp. 39-67.
- Dmitrenko, I., Hölemann, J.A., Tyshko, K., Churun, V., Kirillov, S., and Kassens, H. (2001a) The Laptev Sea flaw polynya, Russian Arctic: effects on the mesoscale hydrography. *Annals of Glaciology*, 33, pp. 373-376.
- Dmitrenko, I.A., Hölemann, J.A., Kirillov, S.A., Berezovskaya, S.L., and Kassens, H. (2001b) Role of barotropic sealevel changes in current formation on the eastern Laptev Sea shelf. *Doklady Earth Sciences*, 377(2), pp. 243-249.
- Dmitrenko, I., Hölemann, J.A., Kirillov, S., Wegner, C., Gribanov, V.A., Berezovskaya, S.L., and Kassens, H. (2001c) Thermal regime of the Laptev Sea bottom layer and affecting processes. *Earth Cryosphere*, 3, pp. 40-55 (in Russian).
- Dmitrenko, I.A., Hölemann, J.A., Kirillov, S.A., Berezovskaya, S.L., Eicken, H., Ivanova, D.A., and Kassens, H. (2002a) Transformation of baroclinic tidal internal waves under the influence of ice cover in the Laptev Sea. *Doklady Earth Sciences*, 385 (5), pp. 609-614.
- Dmitrenko, I.A., Hölemann, J.A., Berezovskaya, S.L., Kirillov, S.A., Eicken, H., and Kassens, H. (2002b) The drivers of Siberian arctic shallow seas hydrography within the scale of seasonal and interannual variability. *Terra Nostra*, 2002/3, pp. 37-38.
- Hölemann, J.A., Schirmacher, M., and Prange, A. (1999) Dissolved and particulate trace elements in newly formed ice from the Laptev Sea (TRANSDRIFT III, October 1995). In: Kassens, H., Bauch, H.A., Dmitrenko, I.A., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J., and Timokhov, L.A. (eds.) *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Berlin: Springer, pp. 101-112.
- Hölemann, J.A., Wegner, C., Dmitrenko, I.A., and Kirillov, S.A. (2002) Transport dynamics on the Laptev Sea shelf: timing of seasonal processes as a control for interannual variability. *Terra Nostra*, 2002/3, pp. 50-51.
- Hölemann, J.A., Schirmacher, M., and Prange, A. (in review) Outflow of particulate and dissolved trace elements to the Laptev Sea during the spring high flow of the Lena River (Arctic Siberia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Kirillov, S.A., Darovskikh, A., and Dmitrenko, I. (2002) Delay in ice formation onset in the Laptev Sea: consequence of additional heat flux from the bottom layer. *Terra Nostra*, 2002/3, pp. 56-57.
- Kassens, H., Bauch, H.A., Dmitrenko, I., Drachev, S., Grikurov, G., Thiede, J., and Tuschling, K. (2001) TRANSDRIFT VIII: drilling the Laptev Sea 2000. *The Nansen Icebreaker, Newsletter* 12 (1), pp. 8-9.
- Kunz-Pirrung, M. (1999) Distribution of aquatic palynomorphs in surface sediments of the Laptev Sea, eastern Arctic Ocean. In: Kassens, H., Bauch, H.A., Dmitrenko, I.A., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J., and Timokhov, L.A. (eds.) *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Berlin: Springer, pp. 561-576.
- Lindemann, F., Hölemann, J.A., Korablev, A., and Zachek, A. (1999) Particle entrainment in newly forming sea ice - Freeze-up studies in October 1995. In: Kassens, H., Bauch, H.A., Dmitrenko, I.A., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J., and Timokhov, L.A. (eds.) *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Berlin: Springer, pp. 113-124.
- Meyer, H., Derevigian, A.Y., Siegert, C. and H-W, H. (2002). Paleoclimate studies on Bykovsky Peninsula, North Siberia - hydrogen and oxygen isotopes in ground ice. *Polarforschung*, 70 (1), 37-51.
- Mueller-Lupp, T., Bauch, H.A., Erlenkeuser, H., Hefter, J., Kassens, H., and Thiede, J. (2000) Changes in the deposition of terrestrial organic matter on the Laptev Sea shelf during the Holocene: evidence from stable carbon isotopes. *International Journal of Earth Sciences*, 89 (3), pp. 563-568.
- Mueller-Lupp, T., Erlenkeuser, H. and Bauch, H.A. (in press). Seasonal and interannual variability of Siberian river discharge in the Laptev Sea inferred from stable isotopes in modern bivalves. *Boreas*.
- Naidina, O.D. and Bauch, H.A. (2001) A Holocene pollen record from the Laptev Sea shelf, Northern Yakutia. *Global and Planetary Change*, 31 (1-4), pp. 139-151.

- Pivovarov, S., Hölemann, J.A., Kassens, H., Antonow, M., and Dmitrenko, I. (1999) Dissolved oxygen, silicon, phosphorous and suspended matter concentrations during the spring breakup of the Lena river. In: Kassens, H., Bauch, H.A., Dmitrenko, I.A., Eicken, H., Hubberten, H.-W., Melles, M., Thiede, J., and Timokhov, L.A. (eds.) *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Berlin: Springer, pp. 251-264.
- Proshutinsky, A.Y. and Johnson, M.A. (1997) Two circulation regimes of the wind-driven Arctic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 102 (C6), pp. 12493-12514.
- Taldenkova, E., Bauch, H.A., Stepanova, A., and Dem'yankov, S. (2002) Holocene environmental changes of the eastern Laptev Sea: evidence from fossil assemblages. *Terra Nostra*, 2002/3, pp. 106-107.
- Tekleva, M.V., Kosenko, Y.V., and Naidina, O.D. (2002) Pollen in shelf sediments as indicator of climate change in Arctic Siberia. *Terra Nostra*, 2002/3, p. 108.
- Wegner, C., Hölemann, J.A., Dmitrenko, I., Kirillov, S., Tuschling, K., Abramova, E., and Kassens, H. (in press) Suspended particulate matter on the Laptev Sea shelf (Siberian Arctic) during ice-free conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

## Teilprojekt 4A: Dynamik und Variabilität des Land-Schelf-Systems

### Eingehende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse des Teilprojektes

Innerhalb des Teilprojektes 4a wurden anhand prozessorientierter Fragestellungen die Dynamik und Variabilität des Land-Schelf-Systems auf unterschiedlichen Zeitskalen mittels biogeochemischer und sedimentologischer Parameter untersucht. Folgende wissenschaftliche Schwerpunkte bildeten den Mittelpunkt des Teilprojektes:

- Erfassung der Dynamik des Partikeltransports auf dem Laptev-See-Schelf
- Erfassung von lang- und kurzfristigen Umweltveränderungen
- Variabilität des Land-Schelf-Systems während verschiedener Zeitscheiben in der Transgressionsgeschichte der Laptev-See

Die erzielten Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit den WissenschaftlerInnen der anderen Teilprojekte bezüglich ihrer Land-Meer-Wechselwirkungen interpretiert. Die Ergebnisse werden im Folgenden für die im Antrag aufgeführten Arbeitsziele vorgestellt.

### Erfassung der saisonalen und räumlichen Dynamik des Schwebstofftransports durch die Verifikation der ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)-Rückstreuungsdaten

Um die saisonale Dynamik der Schwebstoffe innerhalb der Wassersäule und auf dem Schelf zu erfassen, wurden die ADCP-Rückstreuungsdaten der Meeresbodenobservatorien mit Hilfe der während der TRANSDRIFT-VIII-Expedition gewonnenen Messdaten (ADCP-Messungen, optische Trübungsmessungen, Zooplankton- und Chlorophyllmessungen, Bestimmung von Schwebstoffen durch gefilterte Wasserproben) quantifiziert und qualifiziert.

Die Messwerte des optischen Trübungsmessers wurden durch lineare Abhängigkeit der optischen Signale von der Schwebstoffkonzentration umgerechnet (Wegner et al., in press). Zur Umwandlung der ADCP-Rückstreuungswerte wurde ein Ansatz von Holdaway et al. (1999), der sich die theoretische Wechselwirkung zwischen Schallausbreitung im Wasser und der Schwebstoffkonzentration zunutze macht, an die Bedingungen der Laptev-See angeglichen. Im Allgemeinen konnte sowohl mit den ADCPs als auch mit den optischen Trübungsmessern eine gute Abschätzung der Schwebstoffkonzentrationen erzielt werden (Wegner et al., in prep.), wobei die ADCPs zu einer Unterschätzung und die optischen Trübungsmesser zu einer geringfügigen Überschätzung der tatsächlichen Schwebstoffgehalte neigten (Abb. 17).

Durch einen Vergleich der optischen Trübungsmessungen mit biologischen Messungen (Zooplankton-, Chlorophyll-Messungen und Bestimmung des Anteils an organischen Aggregaten) in enger Zusammenarbeit mit den russischen Partnern der OSL-Projektgruppe, St. Petersburg (E. Abramova), und dem Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven (K. Tuschling), wurde die Schwebstoffzusammensetzung vor allem für die eisfreien Monate qualifiziert. Im



Wesentlichen können dann zwei Nepheloidlagen auf dem östlichen und zentralen Schelf unterschieden werden. Die Schwebstoffe innerhalb der bodennahen Nepheloidlage bestehen aus flusstransportiertem Material, resuspendiertem Schelfbodenmaterial und abgestorbener organischer Substanz aus der oberen Wassersäule (Wegner et al., in press). In der Nähe des Lena-Deltas auf dem inneren Schelf ist die Schwebstoffkonzentration innerhalb der oberflächennahen Nepheloidlage stark vom Flusseintrag abhängig. Auf dem mittleren Schelf dagegen sind die Bildung der oberflächennahen Lage und die Konzentrationsschwankungen darin hauptsächlich auf Veränderungen in der Phytoplanktonmasse und der Zooplankton-Migration zurückzuführen (Abramova et al., 2002).

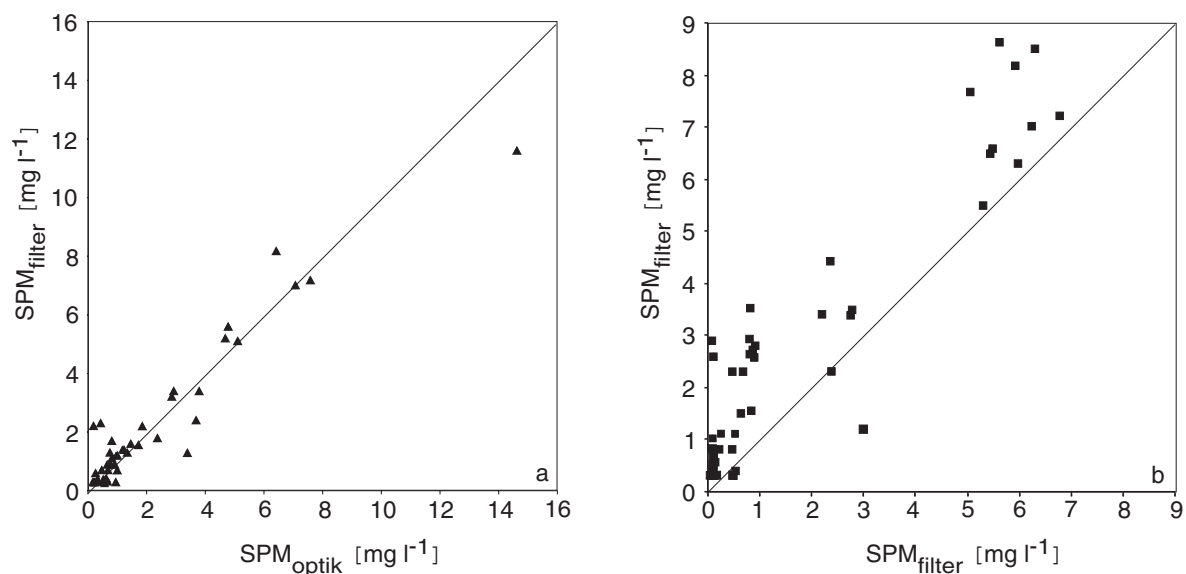


Abb. 17: Vergleich von Schwebstoffkonzentrationen ermittelt aus optischen Trübungsmessungen ( $\text{SPM}_{\text{optik}}$ ) und aus gefilterten Wasserproben ( $\text{SPM}_{\text{filter}}$ ) (a); Vergleich von Schwebstoffkonzentrationen ermittelt aus ADCP-Rückstreuungswerten ( $\text{SPM}_{\text{akustik}}$ ) und aus gefilterten Wasserproben ( $\text{SPM}_{\text{filter}}$ ) (b); die durchgezogene Linie stellt jeweils die 1:1 Linie dar.

Die Umrechnung der ADCP-Rückstreuungswerte der Meeresbodenobservatorien in Schwebstoffkonzentrationen, die Beschreibung der Zusammensetzung der Schwebstoffe und die Auswertung der ADCP-Strömungsdaten in Zusammenarbeit mit den russischen Partnern der OSL-Projektgruppe, St. Petersburg (I. Dmitrenko), und dem Teilprojekt 3 (J. Hölemann) ermöglichte erstmals die Beschreibung der Sedimentdynamik auf dem östlichen Laptev-See-Schelf für den Verlauf eines gesamten Jahres. Die Messungen deuten darauf hin, dass ein Großteil des Sedimenttransportes innerhalb einer bodennahen Nepheloidlage, einer Lage erhöhten Schwebstoffkonzentration in der Wassersäule, stattfindet. Diese bodennahe Nepheloidlage bildet sich auf dem inneren Schelf allerdings erst einige Wochen nach dem Flussaufbruch im Juni/Juli. Kurz nach dem Flusswasseraufbruch breitet sich die durch sehr

hohe Schwebstoffkonzentration gekennzeichnete Flusswasserfahne unterhalb des Festeises auf dem inneren Schelf aus. Auf Grund der hohen Dichteunterschiede kommt es zu nahezu keinerlei Vermischung mit dem unteren Wasserkörper. Erst nach Abschmelzen der Festeisdecke kommt es zur turbulenten Durchmischung der Wassersäule und damit zur Bildung einer bodennahen Nepheloidlage auf dem inneren Schelf. Die Schwebstoffkonzentration innerhalb der bodennahen Nepheloidlage nimmt von Süden nach Norden und von Osten nach Westen hin ab. Während der eisfreien Monate wird im mittleren Schelfgebiet vor allem innerhalb der Rinnen Bodenmaterial resuspendiert und auf den inneren Schelf transportiert (Abb. 18).

#### Erfassung der Erosions- bzw. Ablagerungsgebiete im Bereich der Verankerung der Meeresobservatorien 1998/99 durch Interpretation der PARASOUND-Profile

Zur Erfassung von Erosions- und Ablagerungsgebieten auf dem Laptev-See-Schelf wurden in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 3 (F. Niessen) PARASOUND-Daten der TRANSDRIFT-V-Expedition dahingehend ausgewertet. Es hat sich beim Vergleich der PARASOUND-Daten mit Sedimentkernen gezeigt, dass sich die rezente Strömungsdynamik nicht so signifikant in den PARASOUND-Schrieben widerspiegelt wie z.B. der Wechsel im Sedimentationsregime vor dem Erreichen des Meeresspiegelhochstandes im Holozän auf dem Laptev-See-Schelf. Die Sedimentationsraten der letzten 5000 Jahren auf dem östlichen Laptev-See-Schelf nach Bauch et al. (2001) hingegen entsprechen der unten beschriebenen rezenten Sedimentdynamik (Wegner et al., in prep.).

#### Entwicklung eines Modellansatzes für den Sedimenttransport auf dem Schelf der Laptev-See

Durch die Auswertung der ADCP- und der optischen Trübungsmessungen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse über die saisonale und räumliche Dynamik des Schwebstofftransports auf dem Laptev-See-Schelf (s.o.) konnten die Rinnen als Schlüsselgebiete für den Sedimenttransport ausgemacht werden. Deshalb wurde ein deskriptives Modell exemplarisch für die östliche Lena Rinne als eine der Haupttransportrinnen in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 3 (J. Hölemann) und den russischen Partnern der OSL-Projektgruppe, St. Petersburg (I. Dmitrenko), erarbeitet (Abb. 19):

Die Aufzeichnungen deuten darauf hin, dass während und unmittelbar nach dem Flussaufbruch (Juni/Anfang Juli) auf dem inneren Schelf der Sedimenteintrag durch den Flusseintrag und den Weitertransport des eingebrachten Materials innerhalb der oberflächennahen Nepheloidlage bestimmt wird. Während der eisfreien Monate (Mitte Juli bis September) verbleiben die Schwebstoffe hauptsächlich auf dem östlichen Laptev-See-Schelf.

Das durch die Lena eingetragene Material wird innerhalb der oberflächennahen Nepheloidlage auf den mittleren Schelf transportiert, wo es durch die Wassersäule in die bodennahe Nepheloidlage absinkt. Innerhalb der Bodenlage wird dieses Material zusammen mit

resuspendiertem Schelfbodenmaterial zurück auf den inneren Schelf transportiert. Hier wird das rücktransportierte Material durch turbulente Vermischung teilweise wieder in die oberflächennahe Nepheloidlage befördert, um von dort wieder auf den mittleren Schelf transportiert zu werden. Im Frühwinter, wenn die Neueisbildung beginnt (Oktober), wird das Material innerhalb der oberflächennahen Nepheloidlage eher in neu gebildetes Meereis eingearbeitet und teilweise mit dem Eis über den Kontinentalhang hinweg in den tiefen Arktischen Ozean transportiert.

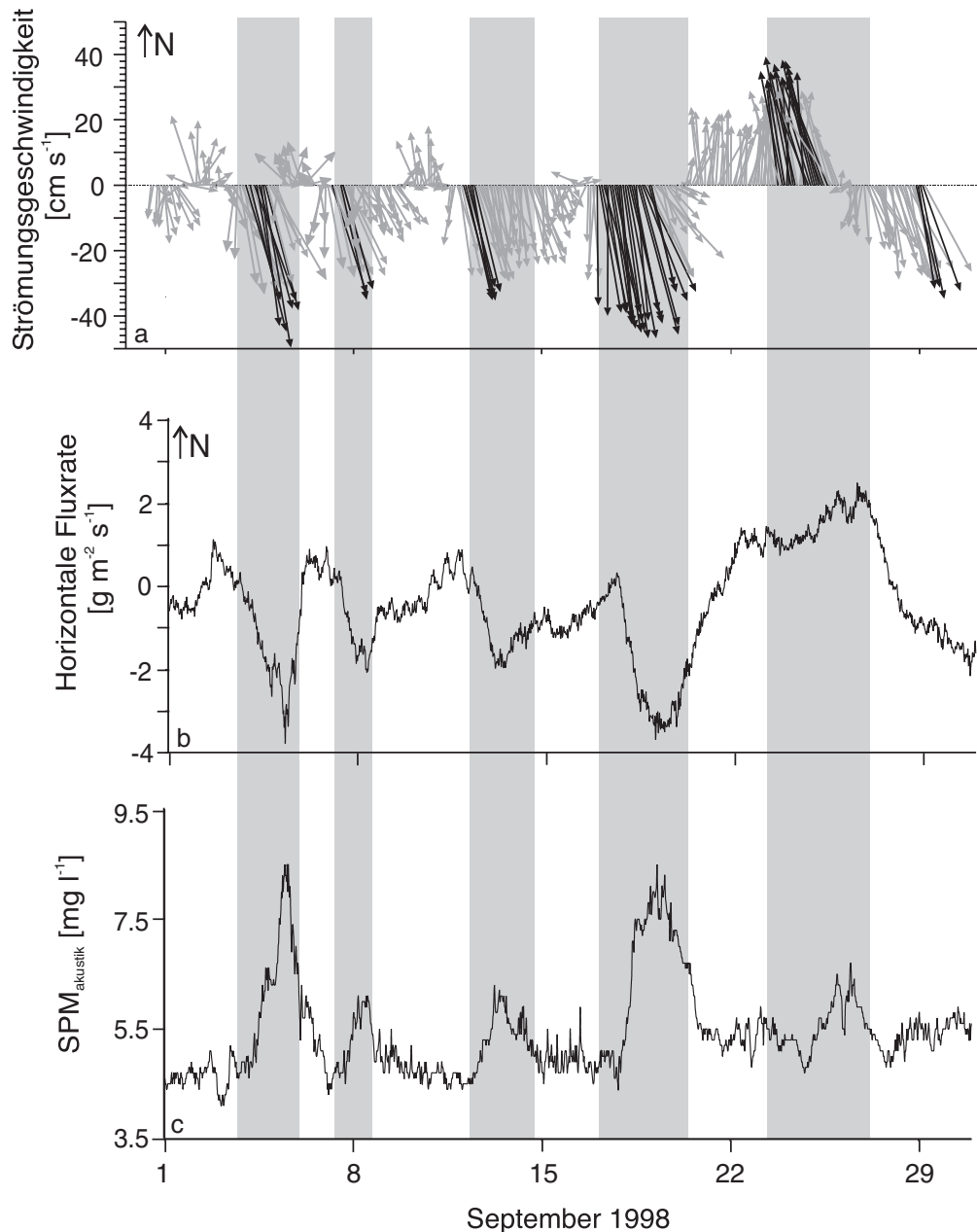


Abb. 18: Bodenströmungen [ $\text{cm s}^{-1}$ ] (a), wobei es bei den schwarz hervorgehobenen Vektoren zur Resuspension von Bodenmaterial kommt, horizontale Fluxrate [ $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ] (b) und Schwebstoffkonzentrationen ermittelt aus ADCP-Rückstreuungswerten ( $\text{SPM}_{\text{akustik}}$ ) [ $\text{mg l}^{-1}$ ] 4 m über Grund des nördlichen Meeresbodenobservatoriums für September 1998. Die grau hinterlegten Bereiche entsprechen Perioden von windinduzierten Bodenströmungen.

71°39' N 128°30'E

77°15' N 130°24'E

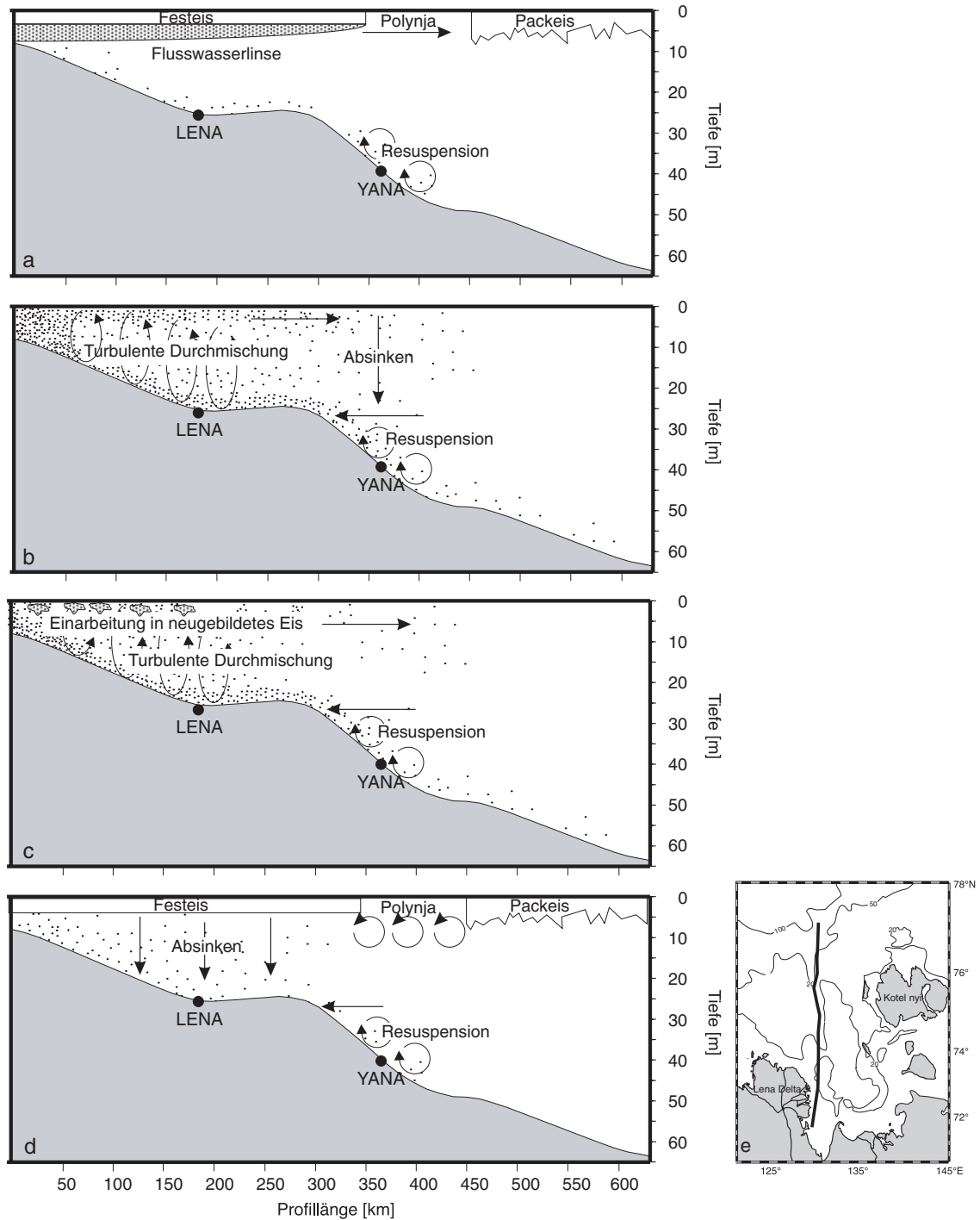


Abb. 19: Deskriptives Modell für den Sedimenttransport während des Flussaufbruchs (a), für die eisfreien Monate (b), zur Zeit des Neueisbildung (c) und während der Zeit der Eisbedeckung (d) entlang der Östlichen Lena Rinne (e). Die Pfeile entsprechen der generellen Transportrichtung für die Schwebstoffe.

Wenn der Schelf eisbedeckt ist (November bis Juni/Juli), sinken die Schwebstoffe unterhalb der Festeisdecke langsam durch die Wassersäule ab, und der Transport in Bodennähe nimmt an Bedeutung ab. Unterhalb der Polynja wird allerdings noch immer Schelfbodenmaterial resuspendiert und auf den inneren Schelf transportiert, wo es sich zeitweise abgelagert (siehe auch

Teilprojekt 3). Die Auswertung der Daten weisen auf einen quasi-ästuarinen Sedimentkreislauf auf dem östlichen Laptev-See-Schelf hin, der einen durch Eisexport dominierten Sedimenttransport zur Folge hat.

Dieses deskriptive Modell über den Sedimenttransport auf dem Laptev-See-Schelf hebt die Bedeutung des Sedimentexportes durch Meereis für die Erstellung eines Sedimentbudgets für die Laptev-See und für den Sedimenteintrag in den tiefen Arktischen Ozean hervor.

#### Rekonstruktion von saisonalen und kurzfristigen Umweltveränderungen in der Laptev-See mittels stabiler Isotopenprofile an rezenten und subrezentem Muscheln (Bivalven)

Die bisherigen Ergebnisse (Müller-Lupp, 2002) der Isotopenanalysen an Bivalven haben gezeigt, dass die daraus rekonstruierten hydrographischen Bedingungen in verschiedenen Regionen der Laptev-See einen gute Übereinstimmung mit gemessenen Daten vergangener Jahre aufweisen. Bisher ließen sich so Salinitätsveränderungen im Bodenwasser von 1998 bis 1980 rekonstruieren (s. Abschlussbericht System Laptev-See 2000). In Zusammenarbeit mit dem russischen Partner des Hydrometeorologischen Instituts in Tiksi/Jakutien (A. Gukov) und dem Leibniz-Labor (H. Erlenkeuser) in Kiel konnte anhand von Bivalvenproben aus den 80er Jahren die zeitliche Veränderung und saisonale Variabilität der Salinität bis in die 60er Jahre rekonstruiert werden (Abb. 4). Um einen kontinuierlichen Verlauf von 1969–1998 zu erhalten, wurden die Sauerstoffisotopenkurven der jeweiligen Bivalven normalisiert und zusammengefügt und spiegeln somit die relativen Salinitätsveränderungen im Bodenwasser der östlichen Laptev-See wider. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Variation des jährlichen Flusswassereintrags durch die Lena, der Hauptsüßwasserquelle der Laptev-See, in den aus Sauerstoffisotopenprofilen der Muscheln rekonstruierten relativen Salinitätsänderungen widerspiegelt (Abb. 20).

Neben den lokalen hydrographischen Ereignissen wie Flusswassereintrag spiegeln die Sauerstoffisotopenprofile der Muscheln aus der östlichen Laptev-See auch großräumige atmosphärische Zirkulationsmuster wider. So zeigen die Ergebnisse eine erhebliche Sensibilität der Muscheln auf Veränderungen in der Nordatlantischen Zirkulation (Abb. 21), die maßgeblich die Niederschlagsverhältnisse und somit auch den Flusswassereintrag in die Laptev-See beeinflusst. Ein positiver nordatlantischer Oszillationsindex (NAO+) hat erhöhte Niederschlagsmengen im Einzugsbereich der Lena zu Folge. Bedingt ist dies durch den stärkeren Transport von feuchten und wärmeren Luftmassen von Europa bis hin nach Zentralsibirien. Gleichzeitig ist in aus den Muscheln rekonstruierten Salinitätskurven ein Trend zu geringeren Bodenwassersalinität in der östlichen Laptev-See zu erkennen.

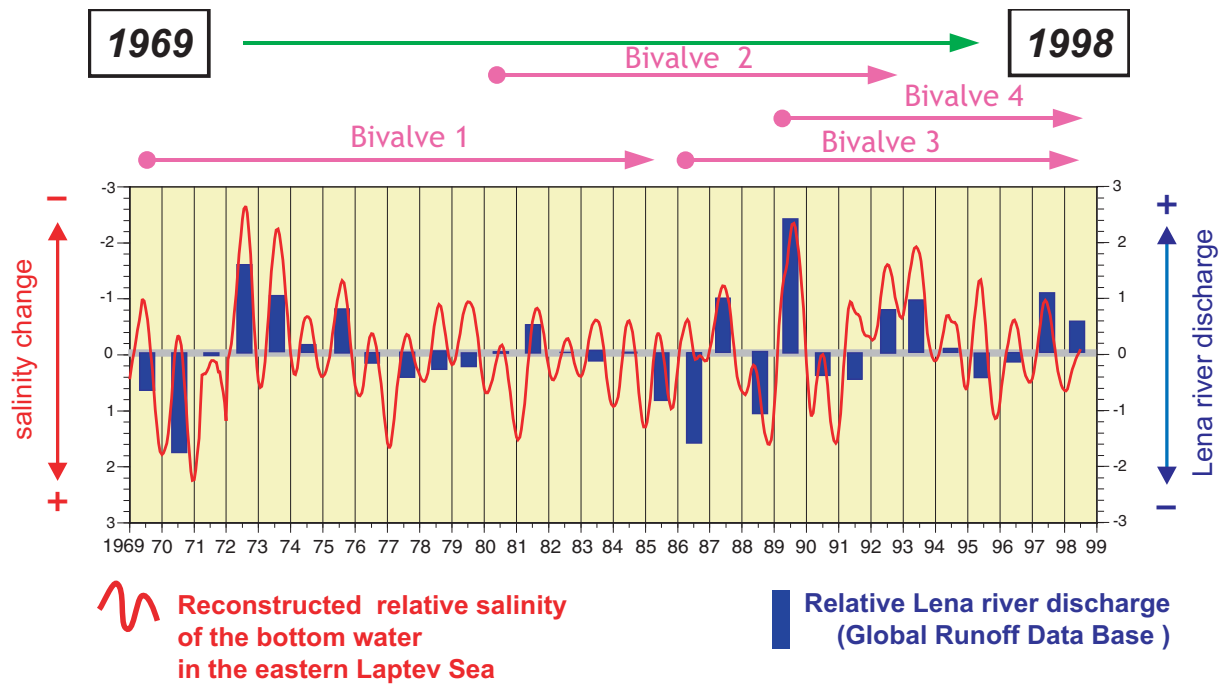


Abb. 4: Relative Salinitätsveränderungen im Bodenwasser der östlichen Laptev-See von 1969-1998, rekonstruiert aus den normalisierten Sauerstoffisotopenprofilen mehrerer lebend gefangener Bivalven; relative Veränderungen im Flusswassereintrag der Lena (1969-1998)

#### Identifizierung und paläoklimatische Interpretation von hydrographischen Parametern während verschiedener Zeitscheiben der postglazialen Transgression in der Laptev-See

Aufgrund der Übereinstimmung der aus rezenten Bivalvenschalen rekonstruierten hydrographischen Bedingungen mit gemessenen Daten (Müller-Lupp, 2002; Müller-Lupp et al., in press) bieten sich Isotopenprofile von fossilen Schalen in Sedimentkernen als Informationsträger für paläohydrographische Bedingungen und Veränderungen an. Obwohl die Isotopenprofile der Bivalven immer nur einen kurzen Zeitraum hydrographischer Gegebenheiten während ihrer Lebensdauer wiedergeben, so haben Sauerstoffisotopenmessungen an fossilen Bivalvenschalen gezeigt, dass sie Aufschluss über Momentaufnahmen der Paläohydrographie und ihrer Beziehung zur holozänen Transgression geben können. Zur Validierung der Salinitätsrekonstruktion im Bodenwasser mittels der Sauerstoffisotopenprofile aus den Muschel wurde an demselben Kern PS51/92 die Oberflächenwassersalinität anhand von Diatomeenvergesellschaftungen rekonstruiert (Bauch and Polyakova, in press). Beide Rekonstruktionen, sowohl für die Salinität des Boden- als für das Oberflächenwasser, zeigen zeitgleiche Trends auf und belegen, dass die untersuchte Station 92 vor 8500 Jahren wesentlich stärker von Süßwasser beeinflusst war als heutzutage (Abb. 6a). Die Gründe für diesen stärkeren Einfluss von Süßwasser zu der Zeit liegen in der holozänen Entwicklungsgeschichte des Laptev-See-Schelfes. Die geringere Oberflächen- und Bodenwassersalinität vor 8500 Jahren an der Station 92 ist zum einen in der damaligen

geringeren Wassertiefe und zum anderen in der geringeren Entfernung zur Küste und somit in der geringeren Entfernung zur damaligen Mündung der Lena begründet (Abb. 6b).

Vor 5000 Jahren wurden der holozäne Meeresspiegelhöchststand in der Laptev-See und moderne hydrographische Bedingungen erreicht, wie die Rekonstruktionen für das Boden- und Oberflächenwasser zeigen.

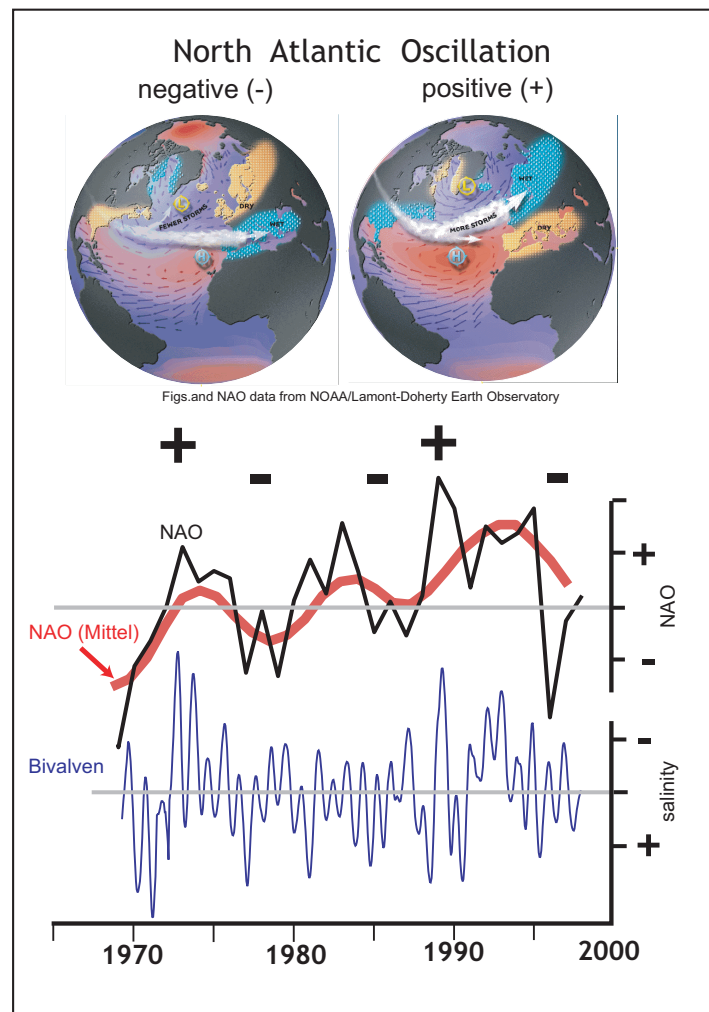


Abb. 5. Sensibilität der Sauerstoffisotopenprofile in Bivalvenschalen auf Veränderungen im nordatlantischen Oszillationsindex (NAO).

### **Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Die Entwicklung eines Ansatzes zur Umwandlung der ADCP-Rückstreuungswerte in Schwebstoffkonzentration auf dem Laptev-See-Schelf ist eine wichtige Vorarbeit zur Anwendung der Methodik auf anderen arktischen Schelfen. Das deskriptive Modell über die Transportprozesse ist nicht nur Grundlage zur Erweiterung des Modells in den angrenzenden

Schelfmeeren, sondern auch für Entscheidungshilfen im Küsten- und Schelfmanagement. Die Erfassung rezenter kurzskaliger Veränderungen der Umweltparameter (Ozeanographie, Flusswasserzufuhr) bildet eine wichtige Voraussetzung für das Verständnis längerfristiger Klimaveränderungen und Modelle. Die erzielten Ergebnisse sind in internationalen Fachzeitschriften publiziert und in der PANGAEA-Datenbank ([www.pangea.de](http://www.pangea.de)) der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich gemacht worden.

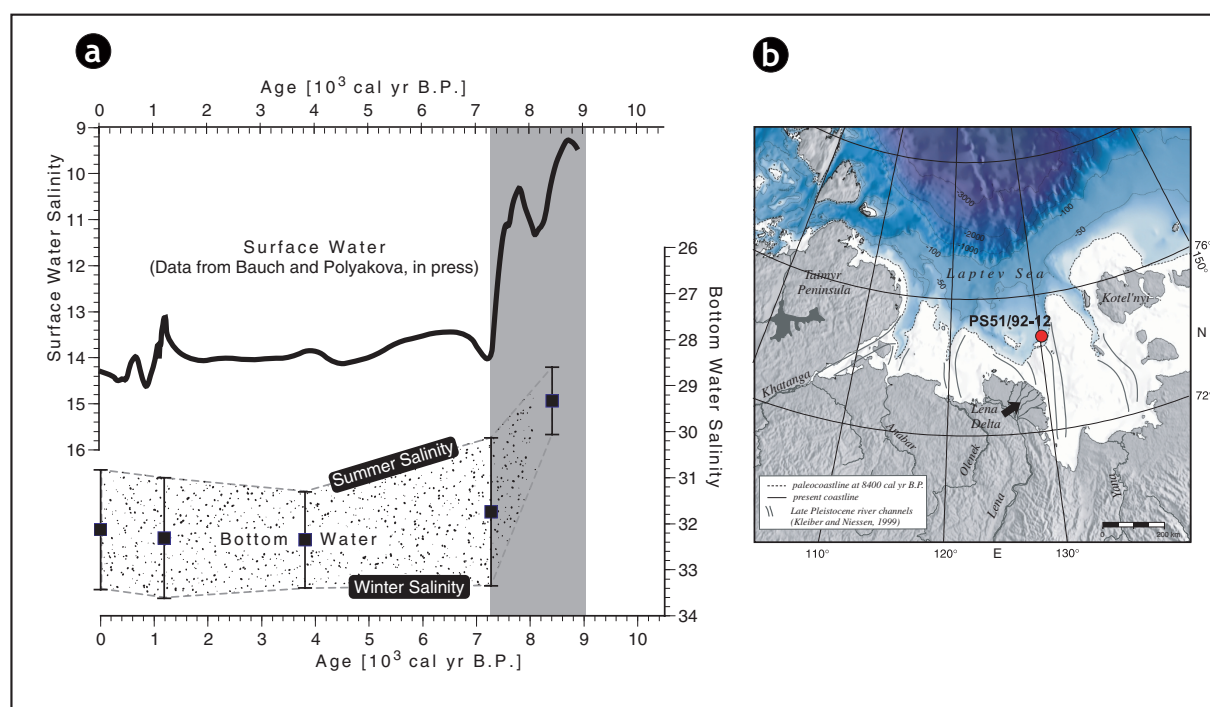


Abb. 6. a) Rekonstruierte Oberflächen- und Bodenwassersalinität an der Station PS51/92 während der letzten 9000 Jahre. b) Paläogeographisches Szenario in der Laptev-See vor 8400 Jahren.

### Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Erfassung der Dynamik und Variabilität des Land-Schelf-Systems auf unterschiedlichen Zeitskalen wurde in enger Zusammenarbeit und in Ergänzung mit den Stipendiaten des OSL durchgeführt. Ansonsten sind Fortschritte auf diesem Gebiet insbesondere auf dem Laptev-See-Schelf an anderen Stellen nicht bekannt.

### Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Siehe Liste der Veröffentlichungen (Anhang).



## Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Siehe Tabelle 2.

## Referenzen

- Abramova, E., Ivanova, D., Tuschling, K., Dmitrenko, I., Hölemann, J.A., Akhmetshina, I., and Wegner, C. (2002) Diel vertical migrations of mesozooplankton in the Laptev Sea inferred from acoustic backscatter signal: long- and short-term variations. *Terra Nostra*, 2002/3, p. 19.
- Bauch, H.A. and Polyakova, Y.I. (in press) Diatom-inferred salinity records from the arctic Siberian margin: implications for fluvial runoff patterns during the Holocene. *Palaeoceanography*.
- Bauch, H.A., Mueller-Lupp, T., Taldenkova, E., Spielhagen, R.F., Kassens, H., Grootes, P.M., Thiede, J., Heinemeier, J., and Pertyashov, V.V. (2001) Chronology of the Holocene transgression at the north Siberian margin. *Global and Planetary Change*, 31 (1-4), pp. 125-140.
- Holdaway, G.P., Thoren, P.D., Flatt, D., Jones, S.E., and Prandle, D. (1999) Comparison between ADCP and transmissometer measurements of suspended sediment concentration. *Continental Shelf Research*, 19, pp. 421-441.
- Mueller-Lupp, T. (2002) Short- and long-term environmental change in the Laptev Sea/Siberian Arctic during the Holocene. *Reports on Polar Research*, 424, 85 pp.
- Mueller-Lupp, T., Bauch, H.A., and Erlenkeuser, H. (in press) Seasonal and interannual variability of Siberian river discharge in the Laptev Sea inferred from stable isotopes in modern bivalves. *BOREAS*.
- Mueller-Lupp, T., Bauch, H.A., and Erlenkeuser, H. (submitted) Holocene hydrographical change of the eastern Laptev Sea (Siberian Arctic) recorded in  $\delta^{18}\text{O}$  profiles of bivalve shells. *Quaternary Research*.
- Wegner, C. (in prep.) Sediment transport on arctic shelves – seasonal variations in suspended particulate matter dynamics on the Laptev Sea shelf (Siberian Arctic). *Dissertation*.
- Wegner, C., Hölemann, J.A., Dmitrenko, I., Kirillov, S., Tuschling, K., Abramova, E., and Kassens, H. (in press) Suspended particulate matter on the Laptev Sea shelf (Siberian Arctic) during ice-free conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.

## Teilprojekt 4B: Koordination und Kompilation

### Eingehende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse des Teilprojektes

Das Verbundvorhaben stellte mit seinem fachübergreifenden Forschungsansatz hohe Anforderungen an die Koordination der wissenschaftlichen und logistischen Arbeiten, die die vielfältigen Aktivitäten der deutschen Seite bündelte und mit den russischen Verbundpartnern abstimmte. Eine wichtige Rolle spielte hierbei das Sekretariat "System Laptev-See", das als Schnittstelle für die Kommunikation innerhalb der Teilprojekte, zwischen den russischen und den deutschen Verbundpartnern sowie den zuständigen Behörden in der Russischen Föderation und der Bundesrepublik Deutschland gedient hat. Die wissenschaftlich-technischen Arbeitsziele konzentrierten sich auf:

- Leitung und Organisation des Sekretariates "System Laptev-See"
- Vorbereitung und Durchführung der nationalen und internationalen Arbeitstreffen sowie der Statusseminare
- Durchführung von Korrekturen und Übersetzungen russischer, englischer und deutscher Manuskripte und Berichte
- Dolmetschen während wissenschaftlicher Arbeitstreffen in Russland und Deutschland sowie die Betreuung von GastwissenschaftlerInnen

Im Mittelpunkt der Arbeiten standen die Abstimmung und Zusammenarbeit mit dem OSL und dem neu eingerichteten Masterstudiengang für Polar- und Meereswissenschaften an der Staatlichen Universität St. Petersburg. Darüber hinaus wurden ein Konzept für ein auf Umwelt- und Paläoklimaaspekte fokussierendes Nachfolgeprojekt erarbeitet sowie die internationale Fachtagung „Climate Drivers of the North“ und fünf nationale Arbeitstreffen organisiert und durchgeführt. Im Berichtszeitraum wurden 24 mehrmonatige Gastaufenthalte vor allem von jungen russischen NachwuchswissenschaftlerInnen betreut (vgl. Anlage). Weitere Arbeitsschwerpunkte des Sekretariates lagen in der Durchführung von Korrekturen und Übersetzungen russischer, englischer und deutscher Manuskripte und Berichte. Die Übersetzung eines Fachbuches (Gukov, 1999) ins Englische wurde fertiggestellt sowie die Arbeiten an der Übertragung einer im Rahmen des Verbundvorhabens beendeten Dissertation (Abramova, 2000) vom Russischen ins Englische vorangetrieben. Desweiteren wurde die Veröffentlichung der von E. Taldenkova übersetzten Monographie (Lisitzin, 2002) begleitet. Insgesamt konnten die Ziele des Teilprojektes vollständig innerhalb des gesteckten Zeitrahmens erreicht werden.